

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
Теплоенергетичний факультет

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр Коваль

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

**Дипломна робота**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Інформаційні технології моніторингу довкілля»**

**спеціальності 122 «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»**

**на тему: «Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи ТМ-62

Баб'як Вікторія Вячеславівна \_\_\_\_\_

Керівник:

Старший викладач

Олена БАНДУРКА \_\_\_\_\_

Консультант: \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

доцент кафедри ТЕУТ та АЕС

Олександр СІРИЙ

Засвідчую, що у цій дипломній роботі немає  
запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет теплоенергетичний

Кафедра автоматизації проектування енергетичних процесів і систем

Рівень вищої освіти перший рівень

Напрямок підготовки 122 Комп'ютерні науки та інформаційні технології

Спеціалізація Інформаційні технології моніторингу довкілля

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Олександр Коваль  
(підпис)

” \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломну роботу студенту**

**Баб'як Вікторії Вячеславівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи "Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони"  
керівник роботи Бандурка Олена Іванівна, старший викладач  
(прізвище, ім'я, по батькові науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від "25" травня 2020р. № **1168-с**

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи програмний застосунок розроблено в середовищі PyCharm із використанням мови програмування Python на операційній системі Mac OS

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) проаналізувати існуючі системи моніторингу рослинності, програмні рішення та можливі засоби реалізації взаємодії, обґрунтувати обрані програмні застосунки та шляхи розробки програмних додатків, розробити програмне забезпечення та користувацький інтерфейс, зробити висновки за результатами роботи

5. Перелік ілюстративного матеріалу зображення засобів розробки, алгоритм методу к-середніх, діаграма прецедентів, графічне представлення інтерфейсу розробленої системи, приклади роботи програмного модулю, діаграми

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання ”\_\_” \_\_\_\_\_ 201\_\_ р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1.	Затвердження теми роботи	25.10.2019	
2.	Вивчення та аналіз задачі	04.02.-13.02.2020	
3.	Розробка архітектури та загальної структури системи	14.02.-21.02.2020	
4.	Розробка структур окремих підсистем	24.02.-02.03.2020	
5.	Програмна реалізація системи	03.03.-12.03.2020	
6.	Оформлення пояснювальної записки	16.03.-29.05.2020	
7.	Захист програмного продукту	04.06.2020	
8.	Передзахист	10.06.2020	
9.	Захист	18.06.2020	

Студент \_\_\_\_\_ Вікторія БАБ’ЯК  
(підпис) (прізвище та ініціали,)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Олена БАНДУРКА  
(підпис) (прізвище та ініціали,)

# АНОТАЦІЯ

Обсяг дипломної роботи складає 62 сторінки, 17 рисунків, 4 додатки та 27 посилань.

Метою дипломної роботи є розробка програмного продукту, який надасть можливість користувачу швидко та зручно відслідкувати зміни рослинного світу Чорнобильської зони. Проведено аналіз наукових досліджень та існуючих програм, у результаті якого була доведена актуальність роботи. Здійснено аналіз алгоритмів щодо обробки інформації та визначено, який найбільш підходить для реалізації даної задачі.

Під час роботи було визначено динаміку стану рослинного покриву території Чорнобильської зони на основі супутникових знімків із застосуванням нормалізованого вегетаційного індексу. А також проаналізовано методи та засоби для створення ефективної комп'ютерної системи для відслідковування змін рослинності зони відчуження.

Результатом роботи стало створення програмного продукту, який здійснює моніторинг рослинного покриву Чорнобильської зони.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, NDVI, атмосферна корекція космічних знімків, QGIS, алгоритм K-Means, Python, рослинність.

## **ABSTRACT**

Diploma scientific work contains 62 pages, 17 figures, 4 appendix and 27 references.

The purpose of the Diploma`s Research paper is developing of software, which will allow the user to quickly and easily track changes in the flora of the Chernobyl zone. It is analyzed the studies and existing programs, as a result of what the urgency of the work was proved. The analysis of the algorithms concerning information processing was conducted, and it was found which one is more better for realization of it.

It was identified the state dynamic of the flora cover the Chernobyl zone territory based on satellite imagery with using the NDVI. And also it was analyzed the methods and ways for creating an effective computer system for tracking changes of the Chernobyl`s zone flora.

The result of the research is creating the software which is tracking the flora`s changing in the Chernobyl.

Key words: remote sensing of the Earth, NDVI, atmospheric correction of satellite imagery, QGIS, K-Means algorithm, Python, flora.

# ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, скорочень і термінів .....	8
Вступ .....	9
1. Задача розробки програмного забезпечення системи відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони .....	11
2. Огляд існуючих систем для відслідковування змін рослинного світу .....	13
2.1. Аналіз сучасних систем відслідковування змін рослинності .....	13
2.2. Дослідження рослинності на основі вегетаційних індексів .....	13
2.3. Залучення довготривалих супутникових спостережень для відслідковування змін рослинного світу .....	18
3. Дані дистанційного зондування Землі (ДДЗ) та методи обробки .....	26
3.1. Основні характеристики космічних знімків .....	28
3.2. Обґрунтування вибору космічних знімків та їх попередня обробка .....	29
3.3. Методи обробки даних ДЗЗ .....	31
3.4. Методи класифікації космічних знімків .....	32
3.5. Динаміка рослинності Чорнобильської зони за даними космічних знімків .....	35
4. Алгоритм аналізу інформації щодо стану рослинності .....	37
4.1. Алгоритм кластеризації к-середніх .....	37
4.2. Переваги та недоліки методу к-середніх .....	39
5. Засоби розробки .....	40
5.1. Мова програмування Python .....	40
5.2. Бібліотеки Python .....	41
5.3. Середовище розробки PyCharm .....	43
5.4. PyQt5 .....	43

6. Робота з програмним забезпеченням QGIS .....	44
6.1. Характеристика QGIS .....	44
6.2. Отримання вхідних даних .....	46
6.2.1. Завантаження вхідних даних.....	46
6.2.2. Плагін GRASS .....	48
6.2.3. Радіометричне калібрування.....	48
6.2.4. Атмосферна корекція .....	49
7. Робота користувача з програмною системою .....	50
7.1. Системні вимоги та інсталяція.....	50
7.2. Інструкція з використання програмного продукту.....	50
Висновки .....	58
Список використаних джерел .....	60
Додаток А .....	63
Додаток Б.....	65
Додаток В .....	75
Додаток Г.....	84

# **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ЧАЕС – Чорнобильська атомна електростанція

АЕС – атомна електростанція

НАСА – Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору

ДЗЗ – дистанційне зондування Землі

NDVI – нормалізований диференційний індекс рослинності

ГІС – географічні інформаційні системи

ArcGIS – програмне забезпечення для побудови ГІС будь-якого рівня

ПЗ – програмне забезпечення

QGIS – вільна крос-платформена геоінформаційна система

GRASS – безплатна геоінформаційна система з відкритим кодом

Фреймворк – зовнішній програмний продукт



## ВСТУП

За масштабами лиха та важкості наслідків людство не знало більшої катастрофи, ніж аварія на Чорнобильській АЕС. Жодна катастрофа XX ст. не мала таких тяжких екологічних наслідків, як чорнобильська. Це трагедія глобального масштабу. Аварія на Чорнобильській АЕС не має аналогів по площі радіоактивного забруднення і величині радіоактивного опромінення рослин. Найбільшому радіаційному впливу піддалися природні екологічні системи в 30-кілометровій зоні ЧАЕС.

Чорнобильська аварія сталася наприкінці квітня – в період прискореного росту рослин. Саме цей період для рослин є найбільш чутливим до радіації. У 30-кілометровій зоні навколо Чорнобильської АЕС у 1986-1988 рр. виявлено багато фактів радіаційного пошкодження рослин. Значні ушкодження екосистем спостерігалися в зоні відчуження. Втрата соснових лісів була зафіксована на площі близько 500 гектарів (пізніше названої "Рудий ліс") в околицях ЧАЕС.

Після аварії пошкоджені екосистеми відновлювалися десятиліттями, і ці процеси реабілітації не менш цікаві й важливі. Таким чином, відбувається "заселення" рослинних угруповань в колишні міста та села, а також на території сільськогосподарських угідь. Чорнобильська аварія показала, що великомасштабні викиди радіонуклідів в навколишнє середовище можуть мати серйозні наслідки для біоти, включаючи порушення в екосистемі [1].

З перших хвилин після вибуху Чорнобильської АЕС і до наших днів Україна повинна вирішувати нові проблеми і безпрецедентні завдання, рішення яких ніхто не знає. Серед них – аналіз впливу радіоактивного забруднення на навколишнє середовище і флору. Актуальність цієї проблеми залишається незмінною, тому що Чорнобиль, який завжди був символом глобальної екологічної катастрофи XX-го століття, продовжує переслідувати нас і сьогодні. Саме тому дана робота присвячена актуальній і важливій задачі: створення системи моніторингу змін рослинності Чорнобильської зони відчуження, які відбулися в період між 1998 і 2018 роками за даними дистанційного зондування землі.

Розробка і реалізація заходів з підтримки і відтворення стану рослинності вимагає всебічної та надійної інформації про її стан в довгостроковій перспективі. Однією з найважливіших проблем моніторингу екосистем є відтворення і зростання рослинності. Її стан залежить від ряду факторів. Моніторинг показників рослинності також повинен ґрунтуватися на методах поглиблених досліджень. Використання супутникових спостережень є одним з ефективних методів вивчення трансформації рослинності. Значення індексів рослинності тісно пов'язане з обсягом зеленої біомаси і служить основою для оцінки сезонної і багаторічної динаміки рослин.

Таким чином, аналіз часових рядів просторових зображень став основою для створення системи моніторингу стану рослинності в зоні відчуження.

# **1. ЗАДАЧА РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ЗМІН РОСЛИННОСТІ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ЗОНИ**

Метою даної роботи є моніторинг стану рослинності в Чорнобильській зоні з використанням супутникових знімків із застосуванням нормалізованого вегетаційного індексу і методу кластеризації к-середніх. А також аналіз методів та засобів для створення ефективної комп'ютерної системи для відслідковування змін рослинного покриву зони відчуження.

Основні завдання роботи:

- аналіз сучасних систем моніторингу змін рослинності;
- огляд існуючих методів оцінки рослинності на певних територіях;
- розглянути сучасні засоби для створення десктопних додатків;
- дослідити особливості обробки і аналізу даних дистанційного зондування Землі;
- проаналізувати способи візуалізації великих обсягів даних;
- розробка і тестування комп'ютерної системи для моніторингу змін рослинності з урахуванням сучасних вимог до розробки програмного забезпечення.

Дослідження спрямовано на розробку програми для моніторингу змін рослинного світу зони відчуження.

Основна увага в дослідженні приділяється методам і засобам представлення і розробки системи програмного забезпечення для відстеження змін рослинності Чорнобильської зони.

Для виконання завдань були використані наступні методи:

- аналіз і узагальнення: при аналізі існуючих інструментів для обробки великих обсягів даних і їх візуалізації, а також при перевірці програмного забезпечення, доступного для створення десктопного додатку;

- проектування і програмування: при використанні обраної мови програмування, фреймворків і бібліотек, які використовуються для створення програмного забезпечення.

Отримані результати допомагають вирішити проблему аналізу показників зміни рослинного покриву зони відчуження, при цьому одержано наступні результати:

- детально обґрунтовано засоби аналізу і візуалізації просторових зображень, що дає можливість порівнювати стан рослинного покриву Чорнобильської зони протягом кількох років;
- показана доцільність застосування сучасних засобів розробки програмного забезпечення та інтерактивних методів для візуалізації даних при створенні десктопного додатку.

Практична цінність результатів, отриманих в ході дослідження, полягає в тому, що розроблена система дозволяє обробляти великі масиви просторових даних і візуалізовувати результати у вигляді простих у використанні графіків і діаграм, які, в свою чергу, дозволяють порівнювати зміни рослинного покриву зони відчуження після катастрофи.

Таким чином, проведені дослідження показують можливості використання цієї системи для моніторингу еволюції рослинного покриву Чорнобильської зони.

## **2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ЗМІН РОСЛИННОГО СВІТУ**

Рослинність є частиною біосфери, яка має унікальні функції. Поглинаючи вуглекислий газ, воду і мінерали під час фотосинтезу, рослини утворюють органічні речовини і виділяють кисень, який необхідний для життя. Великою є роль рослин в міграції хімічних елементів і в підтримці балансу взаємозв'язків, що існують в природі, та в формуванні ґрунтів і ландшафтів. За участю рослинності формується клімат, зберігається водний баланс і склад поверхневої атмосфери, необхідний для живих організмів і т. д. Тому значна увага приділяється вивченню рослинності та достовірній і точній оцінці її кількісних і якісних показників[2].

### **2.1. Аналіз сучасних систем відслідковування змін рослинності**

У XXI столітті створюється все більше програмного забезпечення, що підвищує швидкість та якість процесу аналізу та візуалізації даних, проте, незважаючи на велику кількість створених програм, існує дуже мало спеціальних веб-аплікацій для роботи із даними щодо змін рослинності.

В процесі роботи над системою відслідковування змін рослинності було розглянуто ряд комп'ютерних платформ для аналізу та візуалізації природних змін.

GIOVANNI – це інтерактивна система для онлайн-візуалізації та аналізу даних, які отримані різними датчиками Годдардівського центру даних та інформаційних послуг в області наук про Землю НАСА . Повний перелік даних, які надає ця система, зображений на рисунку 2.1.

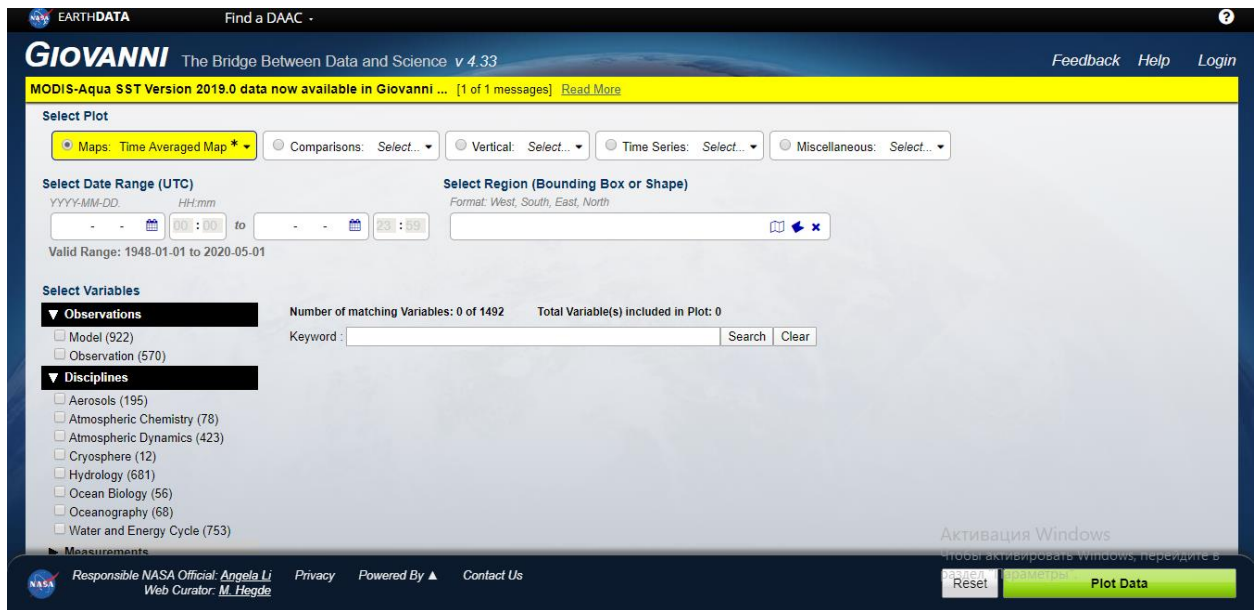


Рис. 2.1 – Головна сторінка веб-сайту «GIOVANNI»

Це веб-додаток, розроблений GES DISC, який забезпечує простий та інтуїтивний спосіб візуалізації, аналізу та доступу до величезної кількості даних дистанційного зондування Землі без необхідності завантаження даних. Система дозволяє отримати доступ до даних з декількох віддалених сайтів, підтримує кілька форматів даних, включаючи ієрархічний формат[3].

Перевагою інтерактивного веб-застосунку для візуалізації та аналізу даних Центру даних та інформаційних послуг для наук про Землю імені Р. Годдарда є отримання даних з супутників NASA безпосередньо в Інтернеті, без труднощів із традиційними методами збору та аналізу даних.

Сайт Giovanni пропонує різноманітні ресурси для вчених і користувачів, включаючи інтерактивне керівництво користувача і сторінки, які описують доступні інтерфейси даних і типи сюжетів.

NASA Earth Observatory – це Інтернет-ресурс НАСА, створений у 1999 році, який є важливим джерелом супутникових знімків та іншої наукової інформації про рослинний світ та навколишнє середовище. Фінансування здійснюється з державного бюджету США. Зображення даного онлайн-ресурсу проілюстровано на рисунку 2.2.

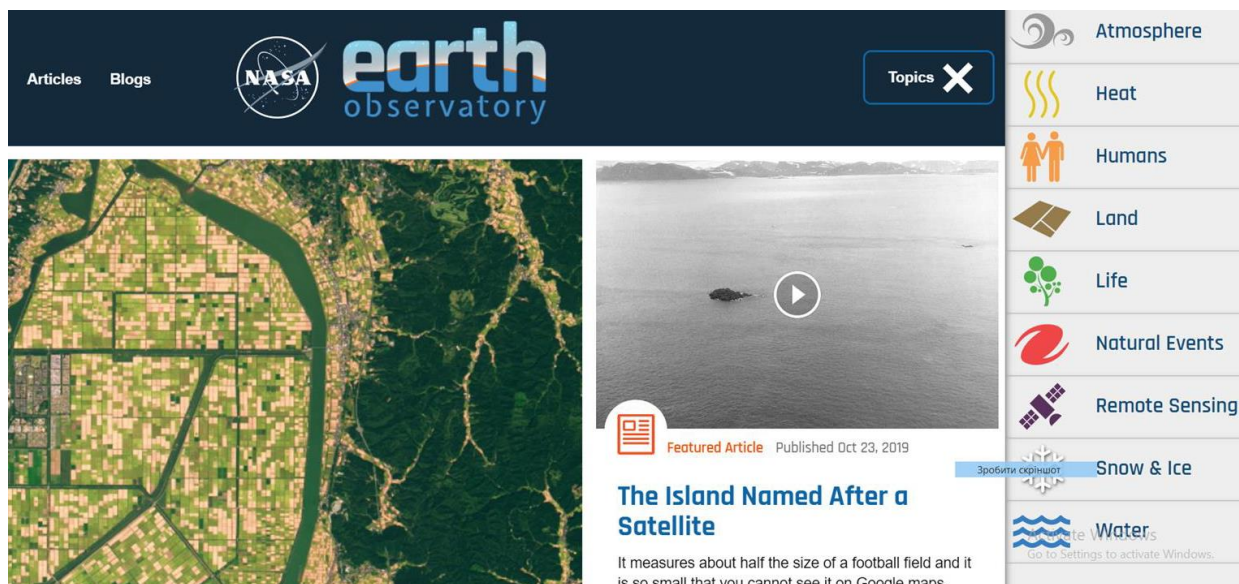


Рис. 2.2 – Головна сторінка NASA Earth Observatory

Посібники користувача та відеоуроки щодо використання сайту в навчальних та освітніх цілях можна знайти на головній сторінці. Слід також зазначити, що програма регулярно оновлюється останніми даними, що високо цінується дослідниками та вченими.

За допомогою супутників ведуться спостереження за рослинністю, які вчені використовують для вивчення змін росту рослин та навколишнього середовища. На цих картах рослинний покрив зображується як масштаб або індекс зеленості. Зеленість заснована на декількох факторах: кількість та тип рослин, наскільки вони вкриті листям та здорові. В місцях, де листя густе і рослини швидко ростуть, індекс високий, зображений темно-зеленим кольором. Регіони, де росте небагато рослин, мають низький вегетаційний індекс, показані блідим кольором. Області, де супутник не збирав дані, зображуються сірими.

Найбільш доступна схема, що зображена на картах, – глобальна: протягом року навколо екватора зеленіє рослинність, тому що опадів, сонячного світла та температури достатньо. Між екватором та полюсами рослинний світ змінюється: росте та падає зі змінами пір року. Це зображено на рисунку 2.3.



Рис. 2.3 – Глобальна карта рослинності

Цифрові карти можуть бути різними. Багато що залежить від сервісу картографії, який розробники використовують при встановленні електронної карти в Інтернеті. Незалежно від ГІС, оцифрування ландшафту є громіздким і дорогим у будь-якому відношенні. Однією з найбільших проблем є оновлення карти. Тому вчені з Університету Колорадо в США запустили проєкт "Земний архів". Цей проєкт – не що інше, як спроба оцифрувати ландшафт Землі за допомогою так званих «лідарів». Тому цей проєкт – безпрецедентна ініціатива, спрямована на використання "лазерних карт" за допомогою лідарів. Зокрема, вчені з Університету Колорадо в США запустили The Earth Archive – проєкт, який спрямований на створення тривимірної карти світу до настання кліматичної кризи. З цією метою вчені планують використовувати літаки, які бомбардують ландшафти густою мережею лазерних променів.

Лідар – технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою оптичних систем, що використовують явище відбиття та розсіювання світла в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Лідар як пристрій являє собою щонайменше один активний далекомір в оптичному діапазоні. Скануючі лідари в системах обробки зображень створюють



двомірне або тривимірне зображення навколишнього середовища. "Атмосферні" лідари можуть не лише визначати відстані від непрозорих світловідбиваючих цілей, але й аналізувати властивості прозорого світлорозсіюючого середовища.

Мета цього проєкту: відстежувати зміни в ландшафтах планети Земля. Завдяки технології LIDAR можна використовувати різні оптичні системи для отримання інформації про віддалені об'єкти. Експерти кажуть, що найбільш уразливі регіони світу, яким загрожує вимирання через повені та інші наслідки зміни клімату, повинні бути проаналізовані якнайшвидше. Вчені переконані, що отримані зображення стануть цінною спадщиною для майбутніх поколінь, які вже не побачать Землю в теперішньому вигляді.

До речі, Microsoft оголосила у квітні 2020 року низку ініціатив щодо покращення охорони та збереження біорізноманіття та екосистем у світі. Одним із проєктів програми є так званий "Планетарний комп'ютер". Новий проєкт буде контролювати глобальний стан навколишнього середовища.

"Планетарний комп'ютер" – це відкрита обчислювальна платформа зі штучним інтелектом, заснована на хмарному сервісі Microsoft Azure. Платформа використовується для відстеження даних про стан Землі. Завдяки отриманій інформації можна відстежувати зміни в екосистемі. Наприклад, система дозволяє відстежувати зміни в розмірах лісу, оцінювати ризик затоплення або встановлювати факти надмірно агресивного видобутку природних ресурсів.

Також повідомлялося, що кожен у світі зможе оновлювати та доповнювати інформацію. Доступ до платформи надається насамперед науковцям, екологам, некомерційним організаціям та урядам.

Завдання комп'ютера не лише визначати види, біорізноманіття та екологічні системи, необхідні для здоров'я та добробуту землі, але й оцінювати різні фактори, які можуть на них позитивно чи негативно впливати. Користувачі можуть здійснювати пошук не лише за ключовими словами, але й за геовідмітками та координатами. Завдяки хмарним ресурсам можна швидко зберігати та передавати дані, а також проєктувати їх для створення аналітичних звітів та виявлення закономірностей змін в екологічній системі.

Проаналізувавши веб-додатки, доступні для роботи з екологічними показниками, було встановлено, що дані програми ефективно працюють, але вони мають ряд недоліків:

- використання застарілих і рідкісних технологій для розвитку онлайн-клієнтів, що суттєво утруднює підтримку, модернізацію та включення нових функцій;
- інтерфейс користувача, який не відповідає вимогам сучасного дизайну, що негативно впливає на доступність та зручність використання програм;
- повна або обмежена функціональність для аналізу та візуалізації місцевих даних;
- незважаючи на наявність інструкцій щодо використання цих інструментів, існує високий поріг входу для використання програми, що значно скорочує кількість користувачів;
- обмежені можливості бачення мікрокліматичних показників.

Однак, розглянувши дані про "Планетарний комп'ютер", можемо зробити висновок, що нова платформа Microsoft дозволяє швидко відслідковувати руйнівні зміни в екологічних системах планети та вживати більш раціональні кроки для збереження біорізноманіття. Будь-який зацікавлений фахівець зможе отримати доступ до інформації, що генерується системою.

Проаналізувавши існуючі системи для відстеження змін в екосистемах планети, слід зазначити, що незважаючи на те, що великі дослідницькі організації займаються цією проблемою, існує серйозний брак комп'ютерних систем для аналізу та візуалізації даних про навколишнє середовище.

## **2.2. Дослідження рослинності на основі вегетаційних індексів**

Для оцінки кількості рослинності на основі багатоспектральних космічних знімків використовують різні індекси рослинності: NDVI (нормалізований диференційний індекс рослинності), WdVI (зважений диференціальний індекс вегетації), PVI (вертикальний індекс вегетації) [4] та їх похідні, більш тісно

пов'язані між собою з фітометричними та біопродуктивними показниками: GPP (первинна валова продуктивність), AEC (первинна чиста продуктивність), FPAR (частка фотосинтетично активного випромінювання), LAI [5]. На сьогодні відомо приблизно біля 160 різних показників рослинності. Вони підбираються експериментально (емпірично) відповідно до відомих особливостей кривих спектрального відбиття рослинності та ґрунту.

Вибираючи вегетаційні показники, найчастіше віддається перевага індексу NDVI.

Індекс вегетації (NDVI) – це комбінація коефіцієнта відбиття поверхні на двох довжинах хвиль і більше, яка використовується для підкреслення особливої властивості рослинності (наприклад, наявність зеленого листа). Відстеження засноване на властивості рослин відбивати сонячне світло. Кожен із рослинних показників використовується для аналізу конкретної ознаки рослинності.

Найпоширенішим вегетаційним індексом є нормалізований індекс відмінностей рослинного покриття.

NDVI – нормалізований диференційний показник вегетації – кількісний показник фотосинтетичних властивостей активної біомаси. NDVI часто називають показником вегетації.

NDVI – це один із найпоширеніших та найбільш часто використовуваних показників для вирішення задачі кількісної оцінки рослинності.

Обчислюється NDVI за формулою (3.1):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (3.1)$$

де NIR – амплітуда відбиття в ближній інфрачервоній області спектра,

RED – амплітуда відбиття в червоній області спектра.

Відповідно до формули, щільність рослинності (NDVI) у певний момент зображення дорівнює різниці між інтенсивністю відбитого світла в інфрачервоній та червоній зонах, поділеною на суму їх інтенсивності. Розрахунок NDVI базується на двох найбільш стабільних областях (незалежно від інших факторів) спектральної кривої відбиття судинних рослин. Максимальне поглинання сонячної радіації

хлорофілом вищих судинних рослин знаходиться в червоній зоні спектру (0,6 - 0,7 мкм), а область максимального відбиття структур клітин знаходиться в інфрачервоній зоні (0,7 - 1,0 мкм). Іншими словами, висока фотосинтетична активність (як правило, пов'язана з густою рослинністю) призводить до меншого відображення в червоній області спектру і більше в інфрачервоній області. Зв'язок цих показників між собою дозволяє чітко відокремити рослини від інших природних об'єктів. Використання не тільки коефіцієнта, але і нормалізованої різниці між максимальним і мінімальним відбиттям підвищує точність вимірювання, зменшує вплив таких явищ, як різниця в освітленні зображення, помутніння, дим, поглинання випромінювання атмосферою тощо [6].

NDVI можна обчислити із зображень високої, середньої або низької роздільної здатності зі спектральними каналами в червоному діапазоні (0,55 - 0,75 мкм) та інфрачервоним (0,75 - 1,0 мкм). Алгоритм обчислення NDVI інтегрований практично з усіма поточними пакетами програмного забезпечення для обробки даних дистанційного зондування (аналіз зображень ArcView, ERDAS Imagine, ENVI, ErMapper, Scanex MODIS процесор, ScanView тощо). Комбінації каналів супутникових камер, що використовуються для обчислення NDVI, наведені в таблиці 2.1 [7].

У QGIS3 канали синтезуються для створення відповідного багатоспектрального зображення, радіометричної та атмосферної корекції зображень, що потребують цієї обробки.

Таблиця 2.1. Комбінації каналів супутника для розрахунку NDVI

Тип супутника	Параметри каналів
TM Landsat(4,5)	(0.63–0.69 мкм), 4 (0.76–0.90 мкм)

Для обчислення цих показників використовуються формули, які враховують взаємозв'язок між відображенням різних природних об'єктів і рослинністю в інших діапазонах, крім червоного та інфрачервоного, що ускладнює їх застосування.

Існують також показники на основі NDVI, які коригують різні тривожні фактори, такі як EVI (покращений індекс вегетації).

Для відображення індексу NDVI, який показує значення від -1,0 до +1,0, використовується стандартизована безперервна дискретизована шкала (рис. 2.4).

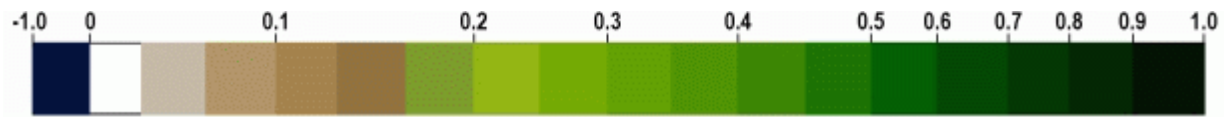


Рис. 2.4 – Дискретизована шкала NDVI

Через особливості відображення в різних областях червоного та інфрачервоного спектрів природні об'єкти, не пов'язані з рослинністю, мають постійне значення NDVI (яке можна використовувати для визначення цього параметра). У таблиці 2.2 показана шкала NDVI, з якої бачимо, що кожне значення NDVI відповідає різним об'єктам на землі.

Таблиця 2.2. Шкала значень NDVI

Тип об'єкта	Відбиття в червоній області спектра	Відбиття в інфрачервоній області спектра	Значення NDVI
Густа рослинність	0.1	0.5	0.7
Розріджена рослинність	0.1	0.3	0.5
Відкритий ґрунт	0.25	0.3	0.025
Хмари	0.25	0.25	0
Сніг і лід	0.375	0.35	-0.05
Вода	0.02	0.01	-0.25
Штучні матеріали (бетон, асфальт)	0.3	0.1	-0.5

Дослідження залежності стану та кількості рослинності від показників родючості ґрунтів передбачає такі етапи:

- отримання статистичних даних, які характеризують показники родючості ґрунтів області;
- побудова цифрової моделі рельєфу Чорнобильської зони;
- скачування доступних наявних космічних знімків за відповідний вегетаційний період із мінімальним відсотком хмарності;
- процес попередньої обробки знімків.

Варто відзначити, що перед обрахунком вегетаційного індексу здійснюється атмосферна корекція всіх досліджуваних знімків за загальноприйнятими методиками [8].

Також проводиться синтезація каналів для формування відповідного мультиспектрального зображення, радіометрична та атмосферна корекція знімків, тих супутників, які потребували даної обробки, в програмі QGIS 3.

Питання розрахунку індексів рослинності можна вирішити завдяки використанню спеціальних Інтернет-сервісів для аналізу даних, які беруться з супутників або ГІС. Значними недоліками цих застосунків є платні тарифи, дорога ліцензія та необхідність певних навичок для роботи з геоданими. Тому завданням дипломної роботи є розробка програмного застосунку, за допомогою якого здійснюється обчислення NDVI. Під час роботи додатку обчислюється значення яскравості кожного пікселя вхідних зображень у видимому червоному та ближньому інфрачервоному каналах шляхом комбінації значень червоного, зеленого та синього кольору. За цими значеннями обчислюється значення NDVI для кожного пікселя в межах від -1 до 1. Проблема відображення даних розв'язана через надання кожному відповідному пікселю вхідного зображення відповідного кольору, отриманого завдяки конвертації значення NDVI даного пікселя. Розроблений програмний застосунок планується використовувати для потреб відслідковування змін рослин на основі даних космічних знімків Чорнобильської зони. В дослідженні

використані дані NDVI на території Чорнобильської зони за період 1998 -2018 рр. (а саме 1998р., 2008 р., 2018 р.).

Отже, можна зробити висновок, що одним із найбільш використовуваних методів, що довели свою ефективність для оцінки стану екологічних систем, є використання індексів рослинності, які дають змогу на підставі зміненого спектрального образу більш ефективно інтерпретувати об'єкти поверхні Землі. Якість рослинного покриву за багатоспектральними космічними зображеннями оцінюється, переважно, за вмістом важливих для життєдіяльності пігментів, та базується на аналізі спектральних характеристик відбиття живого листа рослин у видимому та ближньому інфрачервоному спектральних діапазонах. Оцінки, отримані за допомогою індексу NDVI, містять найбільш детальну інформацію про розподіл і різноманітність рослинного світу.

### **2.3. Залучення довготривалих супутникових спостережень для відслідковування змін рослинного світу**

Використання супутникового спостереження є одним із ефективних методів вивчення змін рослинності на великих територіях, які відбуваються під впливом клімату. Застосування радіометра AVHRR з серії NOHR, який забезпечує спостереження з просторовою роздільною здатністю близько 1 км, дозволяє створити найдовшу серію глобальних наборів даних, що охоплюють період з початку 1980-х років до сьогодення [9]. В якості основи для оцінки сезонної та довгострокової динаміки рослинності використовується індекс вегетації NDVI, який отримують за допомогою супутникових вимірювань властивостей спектрального відбиття поверхні і тісно корелює з об'ємом зеленої біомаси.

Продукти із серії датчиків з низьким та середнім просторовим дозволом також використовуються для оцінки кількісних та якісних властивостей природних об'єктів: EOS / MODIS, Envisat / MERIS, SPOT / Vegetation, Sentinel / MSI. Найбільший вибір інформаційних продуктів був отриманий з багатоспектральних даних із спектрорадіометрів MODIS, встановлених на борту супутникової системи спостереження Землі EOS. Ця система дозволяє здійснювати щоденний оперативний

моніторинг всієї поверхні планети. Продукт MOD15 Leaf Area Index & FPAR (Індекс листкової поверхні / доля фотосинтетично активної радіації) використовується для розрахунку поверхні фотосинтезу, випаровування, чистої первинної продукції, які, у свою чергу, використовуються для розрахунку земної енергії, вуглецю, процесів кругообігу води та біогеохімічних процесів в рослинності [10].

Наявність цих супутникових наборів даних сприяла ряду досліджень, що оцінювали довгострокову динаміку вегетації. Дослідження показали наявність статистично значущих тенденцій значень швидкості вегетації в різних типах екосистем, а також тенденції тривалості вегетаційного періоду, які просторово корелюються з районами зі значними змінами клімату.

Завдання аналізу часових рядів – виявити характерні особливості еволюції (динамічного) розвитку часових рядів, які обов'язково функціонально залежать від різних факторів, що впливають на систему. Динаміка часових рядів містить різні компоненти, які по-різному впливають на систему і є частиною часового ряду.

При аналізі віддалених часових рядів даних тенденції та періодичні компоненти, як правило, визначаються та описуються. Лінійні тенденції даних віддалених часових рядів були описані, використовуючи весь період аналізу та середні прирости за даний період. Періодичні компоненти описуються частотою періодичних коливань, їх участю в досліджуваному процесі, характеризується збільшенням функції (досліджених параметрів процесу) кожного періоду, в якому виникають коливання, та характерним періодом, протягом якого серед інших відбуваються найбільш значні коливання.

Таким чином, на даний час було розроблено багато методів дистанційного оцінювання зонної рослинності за допомогою багатоспектральних космічних знімків.

Тривалі спостереження супутників із середньою просторовою роздільною здатністю, зокрема супутникової системи Landsat, що працює з 1984 року, дозволяють виявити та прогнозувати зміни в рослинному покриві та екологічному стані територій.



Для аналізу динаміки рослинності в Чорнобильській зоні була зібрана серія супутникових знімків Landsat досліджуваної території за 1998-2018 роки. Усі сцени, записані для аналізу, характеризували стан рослинності з липня по серпень кожного досліджуваного року. Це пов'язано з тим, що одним із наступних етапів аналізу був обрахунок вегетаційних індексів, які надзвичайно чутливі до вегетаційної фази, в якій знаходиться рослинність. Однією з наступних фаз аналізу був розрахунок показників вегетації, надзвичайно чутливих до фази вегетації, в якій знаходиться вивчений фітоценоз.

Оскільки в цьому дослідженні були використані зображення із середньою просторовою роздільною здатністю, то площа сцени значно більша, ніж область, що цікавить, тобто площа зони відчуження. Тому всі досліджені зображення були "пристосовані" до потрібної області з відповідним географічним посиленням для подальшої роботи.

### **3. ДАНІ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ (ДДЗ) ТА МЕТОДИ ОБРОБКИ**

Системи ДДЗ – це спостереження і вимір енергетичних і поляризаційних властивостей власного і відбитого випромінювання від наземних, океанічних та атмосферних елементів у різних областях електромагнітних хвиль, що сприяють опису місця, характеру і тимчасової мінливості природних параметрів і явищ, ресурсів Землі, навколишнього середовища та антропогенних об'єктів і утворень.

Сьогодні стрімкий розвиток спроможностей обчислювальної техніки та математично-програмного забезпечення дозволяє суттєво спростити рішення задач дистанційного зондування Землі. Інформація, що отримується від космічних супутників, стала доступна не тільки профільним підприємствам та організаціям, а й широкому загалу осіб, які займаються вивченням та обробкою інформації стосовно оточуючого середовища та процесів, що у ньому відбуваються. Доступність методів та засобів обробки, інтерпретації та розповсюдження інформації дистанційного зондування Землі, що отримуються від космічних засобів, та результатів їх вторинної обробки дали новий поштовх до розвитку даного напрямку. На даний час десятки країн розробляють та використовують власні космічні апарати дистанційного зондування Землі або купують їх у провідних в даній галузі країн світу: США, Франції, Канади, Індії та Європейського космічного агентства.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) є одним з пріоритетних напрямків космічної діяльності України.

Стрімкий розвиток засобів та технологій прийому, обробки, зберігання та передачі інформації дистанційного зондування Землі забезпечується:

- розвитком ГІС-технологій на основі інформації дистанційного зондування Землі, що отримана з космічних супутників;
- розширенням можливостей доступу споживачів до інформації дистанційного зондування Землі через локальну мережу Інтернет;
- збільшенням можливостей зберігання інформації дистанційного зондування Землі та результатів її обробки;

- збільшенням об'ємів та номенклатури продуктів обробки інформації, яка отримана з космічних супутників;
- впровадженням сучасних методів сумісної комп'ютерної обробки різного виду інформації (оптико-електронної, радіолокаційної та ін.), яка отримується від космічних супутників у різний час;
- розширенням мережі станцій прийому в реальному масштабі часу інформації дистанційного зондування Землі;
- розвитком мережі зв'язку та збільшення їх пропускної здатності для забезпечення оперативного використання територіально розподіленої бази даних.

Тому, розвиток української космічної системи дистанційного зондування Землі має відбуватися із врахуванням існуючих загальносвітових тенденцій розвитку даної галузі.

Оглядаючи поверхню землі дистанційними методами, джерелом інформації про об'єкти є їх випромінювання (власне і відбите).

Випромінювання також поділяється на природне та штучне. Природне випромінювання – це природне освітлення земної поверхні сонцем або теплом – власне випромінювання Землі. Штучне випромінювання – це випромінювання, яке виникає, коли ділянку опромінюють джерелом на опорі зареєстрованого пристрою.

Випромінювання – електромагнітні хвилі різної довжини, спектр яких змінюється в діапазоні від рентгенівського до радіовипромінювання. Для екологічних досліджень використовують вузьку частину спектру, від оптичних хвиль до радіохвиль у діапазоні довжин від 0,3 до 3 м.

Важливою особливістю ДЗЗ є наявність між об'єктами і реєструючими приладами проміжного середовища, що впливає на випромінювання: це товща атмосфери і хмарність.

Атмосфера Землі має властивість поглинати електромагнітне випромінювання з певними інтервалами в електромагнітному спектрі (тобто випромінювання конкретних довжин хвиль). Частини електромагнітного спектру, які не поглинаються атмосферою, називаються "атмосферними вікнами". Лише через ці

проміжки можна отримати зображення за допомогою дистанційного зондування (рисунок 3.1). Блакитний колір показує області спектру, які поглинаються атмосферою, а жовтий – атмосферні вікна, в яких супутникове зображення поверхні Землі можна отримати методами дистанційним зондуванням.

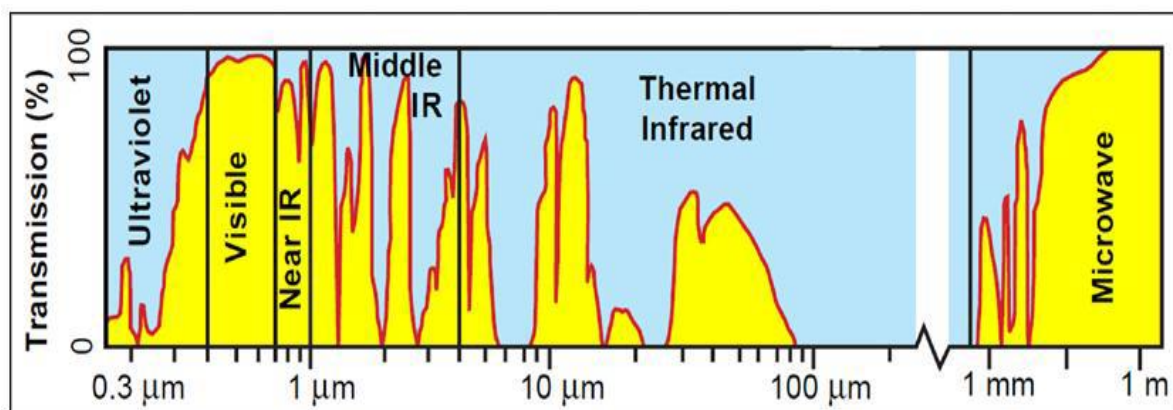


Рис.3.1 – Атмосферні вікна

Всі знімальні системи працюють тільки в тих спектральних діапазонах, які відповідають вікнам прозорості.

Актуальним питанням на сьогодні є використання сучасних методів дистанційного зондування Землі з використанням супутникових даних та програмного забезпечення, що дозволяє автоматизувати процес аналізу. Подібні дослідження можуть стати основою для створення системи моніторингу за станом рослинності на досліджуваних територіях. Зокрема, в межах даної роботи обрана методика була застосована для аналізу динаміки стану рослинних угруповань на території Чорнобильської зони. На її основі може бути створена інформаційна моніторингова система, яка дасть можливість визначати загальну площу покриття рослинності досліджуваної території, визначати її якісний стан та показники продуктивності, а також прогнозувати тенденції динаміки цих показників [11].

### 3.1. Основні характеристики космічних знімків

Стрімкий розвиток сучасних засобів ДЗЗ значно розширив можливості отримання різнобічної інформації про рослинний світ. Використання сучасних

перспективних технологій та космічних зображень може істотно покращити ефективність і точність робіт зі збору інформації про стан рослинності Чорнобильської зони.

Отож, можна виділити основні характеристики космічних зображень :

1. Об'єктивність. Кожен космічний знімок – це документ, який відображає актуальний стан території на час знімання.
2. Актуальність. Космічні дані можна отримати для зображень на різні дати. Отримати космічне зображення на замовлення з середньою чи високою роздільною здатністю можна впродовж декількох тижнів.
3. Масштабність. В загальному сучасне космічне знімання дає можливість отримати зображення значних територій з необхідною деталізацією.
4. Екстериторіальність. Площі, що знімаються, не є обмежені державними чи адміністративними кордонами, немає потреби отримувати дозволи на знімання. Все це дозволяє отримати уніфіковані дані про стан рослинності в різних місцях.
5. Доступність. Це одна з найбільш вагомих причин активного використання космічних знімків. На сьогодні всі дані по космічних знімках з роздільною здатністю 2 м та менше є доступними і їх можна купити. Процедура замовлення та отримання таких зображень є проста і описана на сайтах Інтернет провайдерів.

### **3.2. Обґрунтування вибору космічних знімків та їх попередня обробка**

В даний час дані ДЗЗ із космосу широко використовуються для вирішення різноманітних задач, кожна зі своїми специфічними вимогами до властивостей зображень та самих систем запису, наприклад, частота та регулярність зйомки (спостереження), висока просторова і радіометрична розрізненність (детальна оцінка).

Ретельне врахування характеристик зображень, отриманих від різних датчиків, правильний підбір програмного забезпечення та відповідність вихідних матеріалів

поставленим завданням повинні бути запорукою успішної обробки просторових зображень та отримання необхідних кінцевих даних.

Для вивчення стану рослинності в уражених районах за допомогою даних ДЗЗ рекомендуються такі критерії вибору космічних знімків:

- стабільність отримання нових знімків та кількість архівних даних достатня для проведення аналізу довготривалих змін стану рослинності;
- основний діапазон дат зйомки має припадати на вегетаційний період основних видів рослинності досліджуваної території;
- прийнятні спектральні характеристики та просторова розрізненість (таблиця 3.1);
- хмарність космічного знімку або його фрагменту, що досліджується, не перевищує 10%.

Таблиця 3.1. Характеристики основних знімків, які прийнятні для оцінки рослинності

Супутник	Просторова розрізненість, м	Спектральний діапазон	Періодичність зйомки однієї території, діб
Pléiades-1A	2,8 (2,0)*	B,G,R,NIR	1**
Kompsat-3	2,8	B,G,R,NIR	3
RapidEye	6,5 (5)*	B,G,R,RE,NIR	1
Січ-2	8,2	G,R,NIR,SWIR	5
Landsat- 5, 8	30	B,G,R,NIR,SWIR	16
EO-1/ALI	30	B,G,R,NIR,SWIR	16**

\* – після обробки, \*\* – в залежності від ширини області зйомки

При вирішенні задач на локальних ділянках невеликої площі, що потребують високої оперативності, слушно використовувати космічні знімки високої просторової розрізненості Pléiades-1A та Kompsat-3.

Для дослідження змін за невеликий проміжок часу (напротязі року або декількох) корисні знімки середньої просторової розрізненості, такі як RapidEye та

Січ-2. Наявність у знімків RapidEye каналу кромки червоного (red-edge) надає додаткову можливість оцінки якісних змін стану рослинності.

Сталість поставки, перевірені методи калібрування та корекції, велика база з архівними даними та вільний доступ роблять знімки Landsat практичним інструментом для дослідження змін рослинності протягом довгих періодів (десятиліть).

Порівнюючи різні супутники та властивості знімків, можна зробити висновок, що в цьому дослідженні краще використовувати знімки супутників Landsat – 5, 8, оскільки вони відповідають цілям, поставленим у роботі.

### **3.3. Методи обробки даних ДЗЗ**

Методи обробки космічних знімків поділяють на методи попередньої і тематичної обробки.

Попередня обробка космічних знімків – це ряд операцій над знімками для усунення різних спотворень зображення. Спотворення можуть бути викликані: недосконалістю реєструючої апаратури; впливом атмосфери; перешкоди, пов'язані з передачею зображень по каналах зв'язку; геометричними спотвореннями, пов'язаними з методом космічної зйомки; умовами освітлення підстильної поверхні; процесами фотохімічної обробки та аналого-цифрового перетворення зображень (при роботі з матеріалами фотографічної зйомки) та іншими факторами. Попередня обробка даних ДЗЗ включає в себе геометричну, радіометричну, атмосферну корекцію зображення, географічну прив'язку знімка.

Тематична обробка даних дистанційного зондування (даних ДЗЗ) – це методи поліпшення зображення, які включають в себе зміну контрастності, зменшення шумів, виділення кордонів.

Тематична обробка даних ДЗЗ здійснюється для вирішення конкретного завдання, наприклад, для моніторингу змін території Чорнобильської зони в результаті екологічної катастрофи і т.д. В процесі тематичної обробки даних здійснюється класифікація об'єктів за космічними знімками з їх характерними ознаками.

Дані дистанційного зондування дозволяють отримати більш детальну інформацію про території, оскільки не всі дрібні об'єкти можуть бути відображені на спеціалізованих картах через генералізації даних (дрібні озера, просіки, зміна порід дерев і т.д.).

### **3.4. Методи класифікації космічних знімків**

Космічні технології – це ефективний інструмент для постійного та надійного глобального моніторингу навколишнього середовища. Завдяки прозорості, об'єктивності та ефективності одержання інформації, дані дистанційного зондування Землі з космосу є важливим джерелом геоданих. Аерокосмічна інформація використовується для доповнення, узагальнення та деталізації даних, отриманих із наземних джерел і використовуються в різних соціально-економічних сферах. Щодо збору інформації, існує нагальна потреба швидко обробити дані дистанційного зондування. Найбільш детальний рівень опису структури та взаємозв'язків між компонентами природного середовища дозволяють проводити тематичні методи декодування.

В даний час найбільш поширеним і використовуваним методом дешифрування є візуальне дешифрування знімка. У цьому випадку передбачається, що розшифровку проводить експерт, який знає характеристики області та властивості об'єктів, представлених на зображенні [12].

Однак цей метод трудомісткий і досить тривалий, тому важливо дослідити методи автоматичного дешифрування (автоматичної класифікації). Автоматична класифікація – це процес розбиття пікселів неперервного растрового зображення на категорії на основі їх спектральних значень, в результаті чого кожному пікселю присвоюється нове значення.

В даний час існує два підходи до реалізації автоматичної класифікації: контрольована класифікація (класифікація "з вчителем") та некерована (класифікація "без вчителя", кластеризація). На основі цих підходів розроблено багато методів, найважливіші з яких представлені на рисунку 3.2.



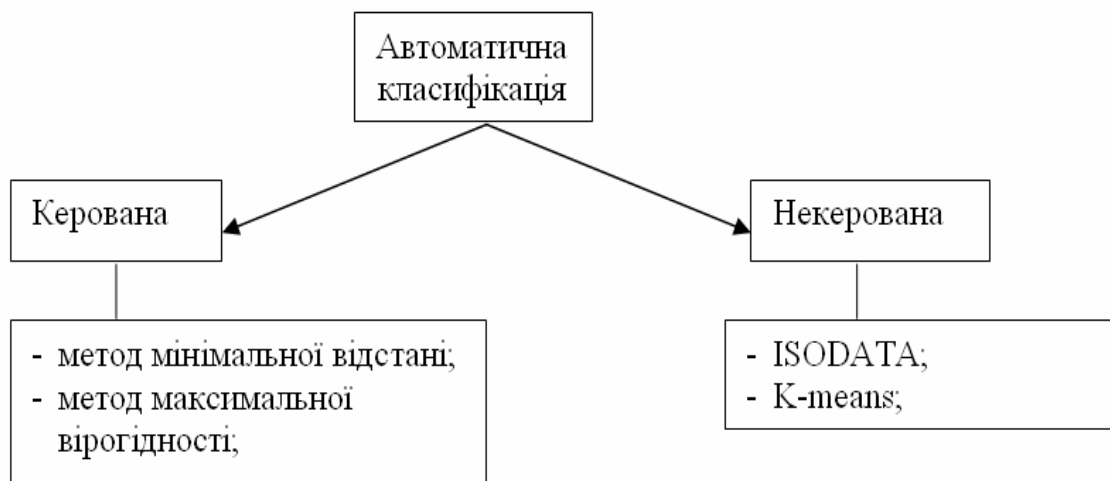


Рис. 3.2 – Основні методи автоматичної класифікації

Керована класифікація аналізує пікселі кожного еталонного полігона і створює спектральні сигнатури для кожного типу покриття. Зображення класифікується шляхом порівняння спектральних значень пікселів із створеними легендами.

Класифікація за методом мінімальної відстані полягає у обчисленні евклідової відстані значень відбиття пікселів від середнього спектрального значення кожної сигнатури. Піксель присвоюється класу з найменшою відстанню. Класифікація за методом максимальної вірогідності вважається однією з найкращих, оскільки вона заснована на імовірнісних принципах.

Алгоритми неконтрольовані класифікації (які часто називають алгоритмами кластеризації) використовуються, коли апріорної інформації про об'єкт зйомки немає.

Завдяки кластерному аналізу можна виділяти контури з неконтрастною по спектральній яскравості структурою, наприклад, рослинність, відкритий ґрунт, вода, хмари та інші об'єкти. Використовуючи алгоритми кластеризації, зображення автоматично поділяється на групи пікселів із подібними спектральними властивостями (кластери). Ці алгоритми вимагають мінімум початкової інформації (кількість класів та ітерацій) [13].

Кластеризація зображень за алгоритмом ISODATA ґрунтується на різниці середніх значень кластера (мінімальна спектральна відстань між класовими центрами) [14].

Метод K-means подібний до методу ISODATA. Основна відмінність алгоритмів ISODATA та K-means – на етапі ініціалізації алгоритму ISODATA відбувається розподіл пікселів, тоді як для алгоритму K-means відбувається розподіл значень математичних очікувань. В таблиці 3.2 подані основні характеристики методів автоматичної класифікації.

Таблиця 3.2. Основні характеристики методів автоматичної класифікації

Методи	Потреба у „навчанні”	Швидкість	Переваги	Недоліки
Метод мінімальної відстані	Так	Швидкий	Після класифікації немає некласифікованих пікселів	Не враховується дисперсія між сигнатурами еталонних полігонів
Метод максимальної вірогідності	Так	Повільний	Вважається найбільш точним, так як працює на ймовірнісних принципах	Сигнатури з великим значенням коваріації сильно підкреслюються і тому потребують нормалізації
ISODATA	Ні	Швидкий	Не потребує попереднього навчання та менш залежний від людського чинника	Невідповідність створених кластерів потрібним класам, тому вимагає подальшого об’єднання або розбиття кластерів
K-means	Ні	Швидкий	Досить добре працює з частково „навченими” кластерами, тобто для частини точок відомо, до якого класу вони належать	Потрібно точно знати необхідну кількість кластерів, тому спочатку використовують інші методи кластеризації, де отримують кількість кластерів і початкове розбиття

Алгоритми керованої класифікації повинні використовуватися, коли є додаткова інформація про об’єкти на знімку, яка потрібна для створення еталонних полігонів. Її можна отримати з карт, планів, наземної зйомки тощо. Якщо ця

інформація недоступна, слід використовувати некеровані алгоритми класифікації. Часто використовують спільно і керовану і некеровану класифікації для підвищення точності дешифрування даних ДЗЗ.

При підготовці до класифікації матеріалів космічних знімків, які використовуються в даному дослідженні, був проведений аналіз рослинності для виявлення змін в її структурі, а також для відокремлення рослинності від інших об'єктів та встановлення пікселів відкритого ґрунту. За результатами проведеної роботи створено тематичні зображення вегетаційного індексу.

### **3.5. Динаміка рослинності Чорнобильської зони за даними космічних знімків**

Технології моніторингу стану земного покриву з космосу набувають все більшого значення в сучасних умовах. Переконливим доказом ефективності використання космічних знімків у практичних та наукових цілях є постійне розширення кола проблем, які вирішують завдяки результатам обробки космічних знімків. Більшість завдань з моніторингу вегетації неможливо виконати без використання даних дистанційного зондування Землі. Вони є надзвичайно важливими для територій, які внаслідок Чорнобильської катастрофи зазнали значного радіоактивного забруднення [15].

Під час космічного моніторингу рослинного світу основна увага традиційно відводиться супутникам, що забезпечують мультиспектральну зйомку та широке охоплення території.

Мета дослідження – відслідкувати та проаналізувати зміни в рослинному покриві Чорнобильської зони відчуження, які відбулися впродовж 1998–2018 років, за даними неперервної карти рослинних екосистем із високою просторовою роздільною здатністю.

Матеріали та методи дослідження. Чорнобильська зона відчуження розташована в північній частині Київської області в Поліському та Іванківському районах.

Результати досліджень. На основі глобальної вегетаційної карти визначено динаміку змін площі рослинності в зоні відчуження та її загальне збільшення завдяки відновленню.

Площа зони відчуження Чорнобиля за характером рослинності належить до зони широколистяних лісів. Колись ця територія була суцільно вкрита широколистяними лісами, але на початок XX-го століття знизилась до 11-12%. Значне зниження родючості земель і неможливість продовжувати використовувати їх в сільському господарстві змусили повернутися до лісовідновлення. Після аварії на ЧАЕС частина покинутої сільськогосподарської території розвивалася спонтанно, заросла, тому лісова площа наразі становить 57,8%. З моменту припинення господарської діяльності великі території зони відчуження, колишні сільськогосподарські угіддя (їх рослинність) значно змінилися.

Таким чином, оцінивши наслідки аварії на Чорнобильській ЧАЕС та сучасний стан зони відчуження, можна зробити висновок, що за період до 2050 року площа покритої лісом території Чорнобильської зони зросте до 65-70%. Соснові ліси, насаджені в 50-х роках, складають зараз основну частину лісових масивів і перейдуть до категорії "пристигаючих" і зазнають значного самозрідження. Площі злуговілих перелогів значно звужаться і втратять компактність; значною мірою перелоги поступляться місцем молодим і середньовіковим березовим та осиковим лісам і гаям. Заплавні луки також поступово замістяться широколистяними лісами [16].

Але, на жаль, ці оптимістичні прогнози щодо динаміки рослинності зони відчуження, мабуть, не збудуться. Пожежа в Чорнобильській зоні у квітні 2020 року завдала непоправної шкоди рослинному покриву. Загалом згоріло 11,5 тисяч гектарів лісу. Внаслідок інтенсивного горіння були втрачені або сильно пошкоджені певні рослинні групи. Частково знищено "рудий ліс" – це близько 10 квадратних кілометрів, прилеглих до Чорнобильської АЕС.

## 4. АЛГОРИТМ АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО СТАНУ РОСЛИННОСТІ

При розробці програмного продукту важливим чинником є розуміння математичної частини для вирішення задачі роботи системи відслідковування змін рослинності зони відчуження.

### 4.1. Алгоритм кластеризації К-середніх

К-середніх – це неконтрольований алгоритм машинного навчання, який використовується для поділу заданого набору  $D$ , що містить  $n$  об'єктів, на  $k$  кластери  $C_1, C_2, \dots, C_k$ . Об'єктивна функція використовується для оцінки якості розподілу, щоб об'єкти в кластері були схожими один на одного, але відрізнялися від об'єктів в інших кластерах. Це означає, що цільова функція спрямована на високу схожість у кластері та низьку схожість між кластерами. Набір даних  $D$  з  $n$  об'єктів розбивається на набір із  $k$  кластерів, так, щоб сума квадратів відстаней була мінімізована (де  $c_i$  – центроїд кластеру  $C_i$ ). Різниця між об'єктом  $p$  кластеру  $C_i$  і  $c_i$ , які представляють кластер, вимірюється за допомогою  $\text{dist}(p, c_i)$ , де  $\text{dist}(x, y)$  – евклідова відстань між двома точками  $x$  і  $y$ . Сума квадратичної помилки між усіма об'єктами в  $C_i$  та центроїда  $c_i$ , визначена як (4.1):

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{p \in C_i} (p - c_i)^2, \quad (4.1)$$

де  $E$  – сума помилки у квадраті для всіх об'єктів у наборі даних;  $p$  – точка в просторі, що представляє даний об'єкт, а  $c_i$  – центроїд кластеру  $C_i$ . Об'єкт до його кластерного центру розміщується у квадраті, а відстані підсумовуються. Ця цільова функція намагається зробити отримані  $k$  кластери максимально компактними та максимально відокремленими [17].

Алгоритм:

1. Алгоритм  $k$ -засобів визначає центроїд кластера як середнє значення точок в кластері.

2. Він випадковим чином вибирає  $k$  об'єктів у  $D$ , кожен з яких спочатку представляє середнє значення кластера або центр.
3. Об'єкт присвоюється кластеру, якому він найбільш схожий, виходячи з евклідової відстані між об'єктом і середнім кластером.
4. Алгоритм  $k$  - означає потім ітеративно покращує варіацію в межах кластера.
5. Для кожного кластера він обчислює нове значення, використовуючи об'єкти, призначені кластеру в попередній ітерації.
6. Ітерації тривають, поки призначення стабільне, тобто кластери, сформовані в поточному раунді, не збігаються з тими, що були сформовані в попередньому раунді.

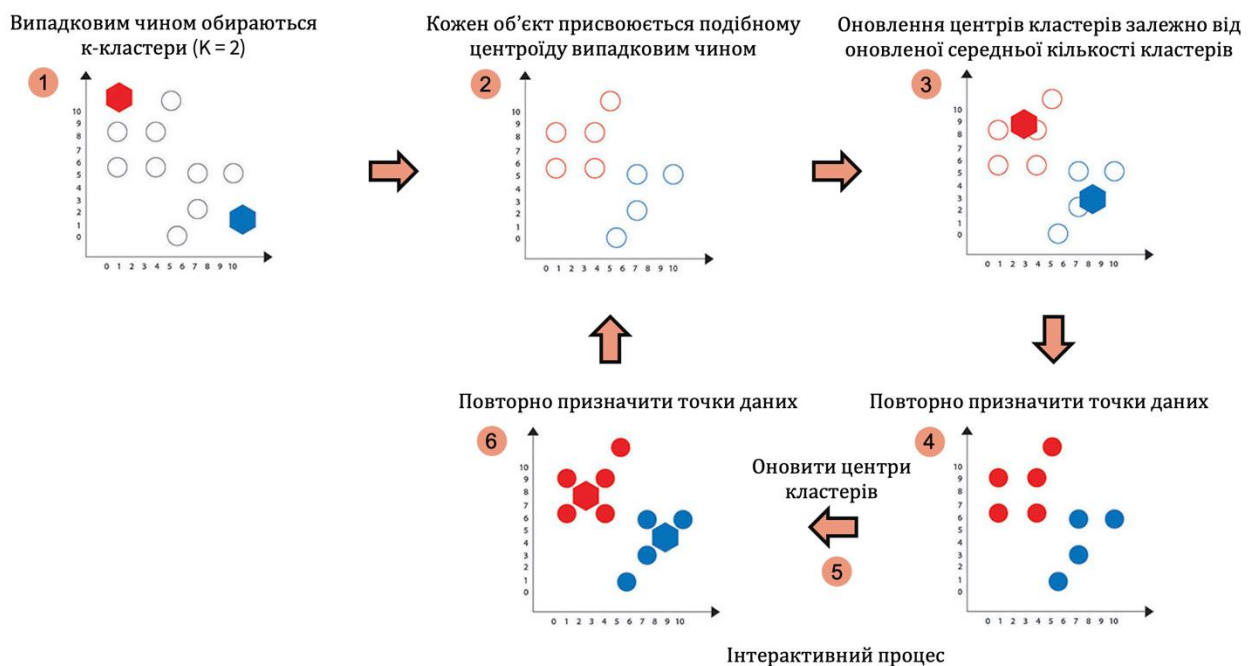


Рис. 4.1 – Робота алгоритму  $k$ -середніх

Складність часу алгоритму  $k$ -засобів дорівнює  $O(nkt)$ , де  $n$  – загальна кількість об'єктів,  $k$  – кількість кластерів,  $t$  – кількість ітерацій. Зазвичай  $k \ll n$  і  $t \ll n$ . Тому метод є порівняно масштабованим та ефективним при обробці великих наборів даних.

## 4.2. Переваги та недоліки методу k-середніх

Метод класифікації k-середніх є більш практичним для великої кількості спостережень, ніж метод ієрархічного кластерного аналізу.

Переваги алгоритму k-середніх:

- легкий у виконанні;
- з великою кількістю змінних, k-середніх може бути обчислювально швидшим, ніж ієрархічна кластеризація;
- k-середніх може створювати більш високі кластери, ніж ієрархічні кластеризації;
- екземпляр може змінити кластер (перейти на інший кластер) під час перерахунку центроїдів.

Недоліки алгоритму k-середніх:

- важко передбачити значення  $K$ ;
- різні початкові розділи можуть призвести до різних кінцевих кластерів;
- погано працює з кластерами (в оригінальних даних) різного розміру та різної щільності.

## 5. ЗАСОБИ РОЗРОБКИ

Важливим етапом для розробки програмного застосунку є виважений вибір засобів та технологій програмної реалізації. Основне середовище розробки – PyCharm. Для розробки алгоритмів використовувалася мова Python.

### 5.1. Мова програмування Python

Python – мова програмування високого рівня з динамічним написанням, автоматичним управлінням пам'яттю та зручними структурами даних високого рівня, такими як словники (хеш-таблиці), списки та кортежі. Більшість реалізацій Python – це інтерпретатори. У той же час Python підтримує класи, модулі (об'єднання в пакети), обробку винятків та багатопотокову обробку. Python має простий і виразний синтаксис. Мова підтримує кілька парадигм програмування: структурну, об'єктно-орієнтовану, функціональну та аспектну. Python підходить для більшості активних платформ. Вона дозволяє необмежено використовуватися в будь-якій програмі [18].

Однак у Python є недоліки: з його допомогою надзвичайно легко передавати найпростішу інформацію, проте не досить зручно висловлювати складні конструкції. Загалом, Python – мова загального призначення, тому її можна використовувати майже в будь-якій галузі розробки програмного забезпечення. Стандартні плагіни Python ідеально розроблені та неодноразово перевірені для вирішення проблем, що виникають під час розробки програмного забезпечення, обробки текстів та рядків, взаємодії операційної системи та дизайну з'єднань, відповідальних за веб-програми. Модулі, які це забезпечують, також написані цією мовою, тому середовище Python має найпривабливішу особливість: крос-платформу. Плагіни можна створити не тільки в самому Python, але і в інших мовах програмування. У цьому випадку можна ефективніше реалізовувати більш вимогливі завдання, такі як складні наукові розрахунки.

Все це робить Python популярною мовою програмування у світі технологій.



## 5.2. Бібліотеки Python

Бібліотека Python – це сукупність модулів, об’єктів і підпрограм для розв’язання задач, близьких до мови Python. Бібліотека Python дуже велика і пропонує різноманітні інструменти. Вона містить вбудовані модулі, які забезпечують доступ до системних функцій, таких як файловий ввід/ вивід, до якого програмісти Python не мали б доступу, та модулі, написані на Python, які пропонують стандартні рішення багатьох проблем, що виникають у повсякденному програмуванні. У Python є багато бібліотек, що значно спрощує роботу програміста, оскільки не доведеться писати весь код самостійно.

На рисунку 5.1 показана розширена блок-схема бібліотек, що використовуються в мовному середовищі програмування Python при роботі з геопросторовими даними.

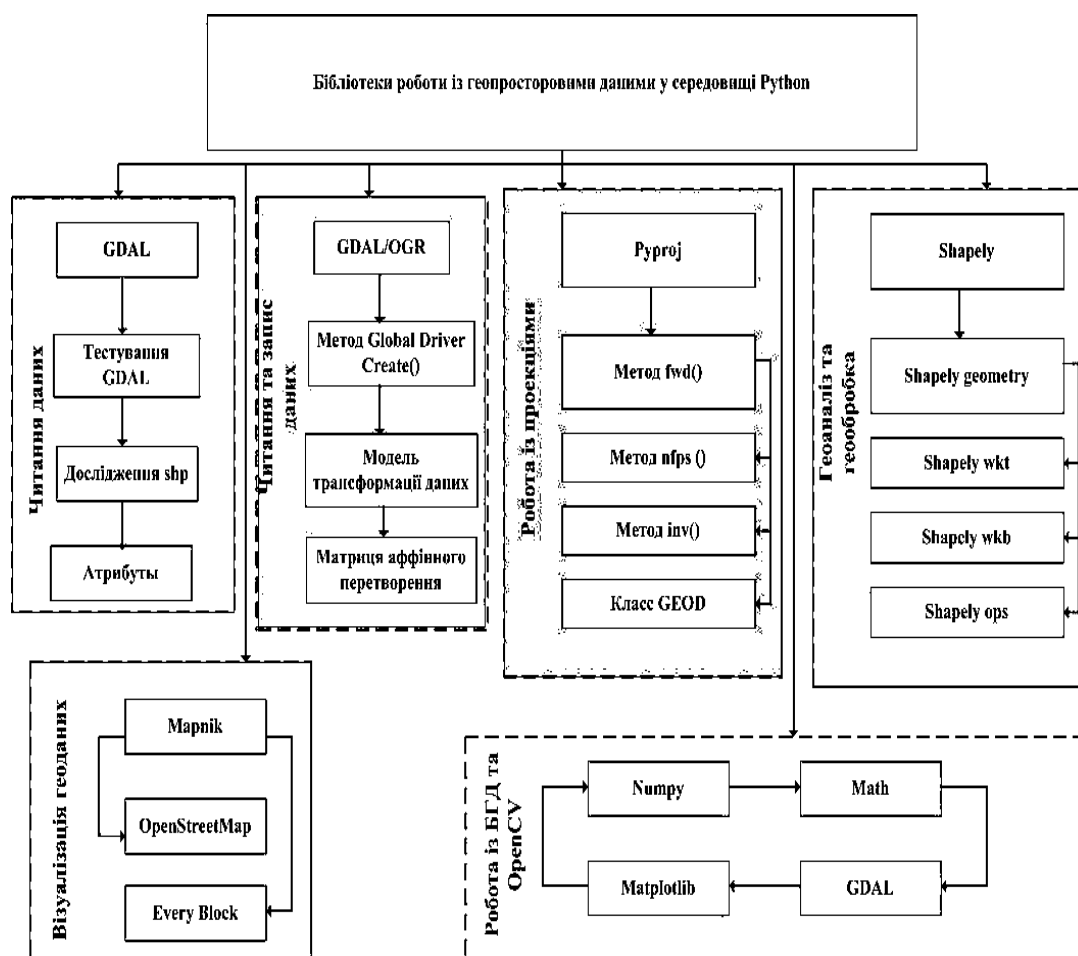


Рис. 5.1 – Структурна схема бібліотек Python, що використовуються при роботі із геопросторовими даними

GDAL [19] — це вільна бібліотека для роботи з растровими даними. Бібліотека надає єдину абстрактну модель даних для всіх підтримуваних растрових форматів. Для того, щоб виконати перепроєктування, поєднання растрів, обрізку растрів, геотрансформацію, отримати інформацію про кількість каналів растра, вилучити дані та метадані, — встановлюється 15 бібліотек GDAL.

Функціями бібліотеки GDAL є: суміщення растрів, обрізка растрів, геотрансформація, об'єднання різних форматів растрів, отримання інформації про кількість каналів растрів, вилучення даних і метаданих. Вона ж може виконувати читання з різних растрових форматів, таких як jpeg і GeoTiff. Бібліотека GDAL дуже корисна при роботі з космічними даними, зробленими зі знімальної апаратури, розташованої на супутниках Землі. Будучи безкоштовною і маючи відкритий вихідний код, бібліотека широко поширена в колах ПС користувачів.

Для розрахунку коефіцієнта глобальної кореляції, локальної кореляції і класифікації зон, використовується бібліотека NumPython. Бібліотека NumPython перетворює Python у вільний та більш потужний еквівалент системи. Бібліотека виконує реалізацію матричних та 16 векторних операцій, а також багатьох чисельних алгоритмів.

Numpy – розширення мови Python, що додає підтримку великих багатовимірних масивів і матриць, разом з великою бібліотекою високорівневих математичних функцій для операцій з цими масивами. Містить такі структури даних, як багатовимірні масиви та матриці. Може слугувати для виконання певних математичних операцій над масивами. Бібліотека містить багато математичних, алгебраїчних функцій та функцій перетворення.

Matplotlib – бібліотека на мові програмування Python для візуалізації даних двовимірної та тривимірної графіки. Одержувані зображення можуть бути використані у якості ілюстрацій в картографічних публікаціях.

Matplotlib є гнучким, легко конфігурованим пакетом. У даний час пакет працює з декількома графічними бібліотеками.

Пакет підтримує багато видів графіків і діаграм:

- Графіки;

- Діаграми розсіювання;
- Стовпчасті діаграми і гістограми;
- Секторні діаграми;
- Контурні графіки;
- Спектральні діаграми.

Python має набір безлічі функціональних бібліотек, які можуть бути швидко та ефективно використані для вирішення прикладних ГІС-задач.

### **5.3. Середовище розробки PyCharm**

PyCharm – це інтегроване середовище розробки для Python, яке має повний комплект засобів, необхідних для ефективного програмування на Python. PyCharm має зручний редактор коду зі всіма корисними функціями: підсвічуванням синтаксису, автоматичним форматуванням, доповненням і відступами.

PyCharm забезпечує інтелектуальне завершення коду, його перевірку, підкреслення помилок "на льоту" і швидкі виправлення, а також автоматичну реорганізацію коду і великі можливості навігації. PyCharm надає відмінну підтримку для розробки з використанням сучасних веб-фреймворків. PyCharm інтегрується з Python Notebook, а також має безліч наукових пакетів, включаючи Matplotlib і NumPy.

### **5.4. PyQt5**

PyQt – це бібліотека, яка дозволяє використовувати рамку Qt GUI від Python. PyQt може працювати на всіх платформах, що підтримуються Linux та іншими операційними системами, такими як UNIX, MacOSX і Windows. Це мультиплатформенний інструментарій, який запускається на великих операційних системах. PyQt містить понад 620 класів, що охоплюють графічні інтерфейси користувачів, мережеве спілкування, перегляд веб-сайтів та інші технології, які доступні Qt. Також можна додати нові графічні елементи керування, написані на Python для дизайнера Qt. Бібліотека Qt – це одна з найпотужніших GUI-бібліотек.

## 6. РОБОТА З ПРОГРАМНИМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ QGIS

### 6.1. Характеристика QGIS

Географічні інформаційні системи – основний інструмент для всіх, чия робота пов’язана зі створенням, управлінням або аналізом геопросторових даних у різних сферах охорони природи, лісового та сільського господарства.

QGIS – це вільна безкоштовна desktop ГІС з відкритим кодом. З її допомогою можна створювати, редагувати, візуалізувати, аналізувати та публікувати геопросторову інформацію в Windows, Mac, Linux (а також вже з’явилася beta-версія, яка дозволяє працювати на платформі Android). Система добре документована на українській мові. Функціональність QGIS визначається великою кількістю встановлюваних розширень, які завантажуються через меню «Управління модулями».

QGIS спочатку планувалася як переглядач просторових таблиць PostGIS, але з часом перетворилася на повну ГІС, здатну вирішувати широкий спектр завдань, що наведений у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Функції QGIS

Створення геоданих	<ul style="list-style-type: none"><li>• геокодування;</li><li>• створення і редагування векторних (shape) файлів;</li><li>• створення і редагування атрибутивних даних;</li><li>• інструменти для імпорту і експорту даних GPS;</li><li>• створення і редагування таблиць просторових баз даних.</li></ul>
Управління геоданими	<ul style="list-style-type: none"><li>• підтримка стандартних проекцій (більше 2 700), а також параметрів переходу між різними системами координат;</li><li>• створення призначених для користувача проекцій;</li><li>• перепроеціювання «на льоту»;</li><li>• перепроеціювання векторних і растрових шарів;</li><li>• перевірка топології;</li></ul>

Таблиця 6.1. Функції QGIS (продовження)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• перегляд / пошук атрибутів (SQL-запити);</li> <li>• визначення / вибірка об'єктів (SQL-запити).</li> </ul>
Аналіз геоданих	<ul style="list-style-type: none"> <li>• функції геообробки;</li> <li>• просторові запити;</li> <li>• калькулятор полів атрибутів;</li> <li>• калькулятор растрів;</li> <li>• морфометричний аналіз;</li> <li>• найбільш широкі можливості аналізу геоданих надає фреймворк геообробки QGIS.</li> </ul>
Подання геоданих	<ul style="list-style-type: none"> <li>• зміна символіки векторних і растрових шарів;</li> <li>• підпис об'єктів;</li> <li>• компоновка карт для створення карт і атласів;</li> <li>• публікація карт в Інтернет.</li> </ul>

Таким чином, QGIS пропонує безліч загальних функцій, пов'язаних з ГІС, які забезпечуються основними функціями та додатками.

Середовище QGIS пропонує такі функції, як відображення комбінації векторних та растрових даних (у 2D або 3D) у різних форматах та проекціях без перетворення у внутрішній чи загальний формат. Можна інтерактивно переглядати та вивчати просторові дані за допомогою графічного інтерфейсу користувача. QGIS також пропонує можливість створювати, змінювати, керувати та експортувати векторні та растрові шари в різних форматах.

Просторовий аналіз даних може бути виконаний на просторових базах даних та інших підтримуваних форматах OGR. Наразі QGIS пропонує інструменти для векторного аналізу, геопроеції, геометрії та управління базами даних [16]. Завдяки розширюваній модульній архітектурі QGIS можна адаптувати до конкретних вимог. QGIS пропонує бібліотеки, за допомогою яких можна створювати модулі. Можна створювати окремі застосунки, використовуючи мови програмування C++ або Python.

## 6.2. Отримання вхідних даних

### 6.2.1. Завантаження вхідних даних

Для завантаження космічних знімків потрібно зареєструватися на сайті <http://earthexplorer.usgs.gov/>, увійти в свій аккаунт та встановити необхідні критерії для вибору знімків. Специфікація для вибору знімків наведена в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1. Специфікація для вибору знімків

Критерій	Необхідні дані
Координати	м.Чорнобиль (51°16'24" п. ш., 30°13'20" с. д.)
Дата зйомки	01.07.1998-08.31.2018 (липень-серпень)
Відсоток хмарності	Не більше 10%
Рівень обробки	З проведеною геометричною корекцією
Формат отриманих даних	GeoTiff

Необхідно обрати потрібний супутник, в моєму випадку Landsat 5 та Landsat 8. Landsat – це серія багатоспектральних супутників, розроблених NASA (Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору США), з початку 1970-х. Впродовж понад чотирьох десятиліть супутниками Landsat було отримано спеціалізовані цифрові зображення континентів Землі. Знімки Landsat широко вживані у дослідженнях довкілля. Супутник Landsat 5 запущено 1 березня 1984 року. Час існування супутника на орбіті склав 24 роки. Супутник Landsat 8 був виведений на орбіту 11 лютого 2013 року. Саме тому у дипломній роботі використовуються космічні знімки різних супутників Landsat.

Щоб показати знімок у натуральних кольорах, потрібно поєднати канали red, green, blue. Для Landsat 5 – 3, 2, 1. Вирізняльні здатності сенсорів Landsat 5 наведені в таблиці 6.2

Таблиця 6.2. Канали Landsat 5

<b>Канали Landsat 5</b>	<b>Довжина хвилі [мікрометри]</b>	<b>Вирізняльна здатність [метри]</b>
Канал 1 – Синій	0.45 – 0.52	30
Канал 2 – Зелений	0.52 – 0.60	30
Канал 3 – Червоний	0.63 – 0.69	30
Канал 4 – Ближній інфрачервоний (NIR)	0.76 – 0.90	30
Канал 5 – SWIR 1	1.55 – 1.75	30
Канал 6 – Тепловий інфрачервоний	10.40 – 12.50	120 (передискретизована до 30)
Канал 7 – SWIR 2	2.08 – 2.35	30

Для супутника Landsat 8 – 4, 3, 2. Вирізняльні здатності сенсора Landsat 8 наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3. Канали Landsat 8

<b>Landsat 8 Bands</b>	<b>Довжина хвилі [мікрометри]</b>	<b>Вирізняльна здатність [метри]</b>
Канал 1 – Узбережний аерозоль	0.43 – 0.45	30
Канал 2 – Синій	0.45 – 0.51	30
Канал 3 – Зелений	0.53 – 0.59	30
Канал 4 – Червоний	0.64 – 0.67	30
Канал 5 – Ближній інфрачервоний (NIR)	0.85 – 0.88	30
Канал 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Канал 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Канал 8 – Панхроматичний	0.50 – 0.68	15

Таблиця 6.3. Канали Landsat 8 (продовження)

Канал 9 – Пір’їсті хмари	1.36 – 1.38	30
Канал 10 – Тепловий інфрачервоний (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100 (передискретизована до 30)
Канал 11 – Тепловий інфрачервоний (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100 (передискретизована до 30)

Отже, завдяки можливостям дистанційного зонування Землі за допомогою супутників Landsat та їх знімків можна виявити показник кількості фотосинтетично активної біомаси (вегетаційний індекс).

### 6.2.2. Плагін GRASS

Система підтримки аналізу географічних ресурсів, яку зазвичай називають GRASS GIS, – це географічна інформаційна система (GIS), яка використовується для управління даними, обробки зображень, побудови графіків, просторового моделювання та візуалізації багатьох типів даних. Це вільне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом.

GRASS GIS містить понад 350 модулів для візуалізації карт та зображень на моніторі та папері; маніпулювання растровими та векторними даними, включаючи векторні мережі; обробка даних багатоспектрального зображення; створення, керування та зберігання просторових даних.

GRASS GIS пропонує як інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача, так і синтаксис командного рядка для зручності операцій.

### 6.2.3. Радіометричне калібрування

Першим важливим кроком при обробці даних супутників Landsat є радіометричне калібрування. У завантаженому наборі даних Landsat кожен піксель зберігає безрозмірне нормалізоване значення (Digital Number / DN), отримане після перетворень "сирих" значень, зареєстрованих сенсором супутника. У кожному незалежному наборі даних (і навіть у різних каналах одного і того ж набору) ці



числа можуть бути абсолютно несумісними, вони не несуть безпосереднього фізичного змісту, тому обробляти такі дані не прийнято (тільки в цілях візуального дешифрування). Однак існують способи, за допомогою яких можна, використовуючи метадані набору, перерахувати DN в один з двох фізичних параметрів – відбивну здатність (reflectance) або спектральну енергетичну яскравість (radiance). Здійснити такі перетворення можна двома способами: за допомогою модуля `i.landsat.toar` або калькулятора растрів `r.mapcalc`.

#### **6.2.4. Атмосферна корекція**

Одним з важливих етапів попередньої обробки космічних знімків є атмосферна корекція. Атмосферна корекція – це процес видалення впливу атмосфери для отримання значень відбиття поверхні. Атмосферна корекція може значно покращити інтерпретацію та використання зображення.

Отримувані знімальною системою дані про підстильну поверхню і об'єкти на ній, очевидно, є викривленими через вплив безлічі чинників, серед яких основний – атмосфера, складне і неоднорідне середовище. Зрозуміло, що для коректної обробки космічних знімків необхідно максимально детально врахувати ці спотворення, відновивши "справжнє обличчя" об'єктів на земній поверхні. Саме для цього застосовується так звана атмосферна корекція. Щоб врахувати вплив атмосфери, його потрібно якось змодельовати, або, висловлюючись коректніше, змодельовати поведінку відбитої сонячної радіації на шляху від об'єкта до знімальної апаратури. У GRASS (модуль `i.atcorr`) реалізована досить складна і докладна модель 6S (Second Simulation of a Satellite Signal in the Solar Spectrum).

## **7. РОБОТА КОРИСТУВАЧА З ПРОГРАМНОЮ СИСТЕМОЮ**

У цьому розділі описано вимоги до технічного забезпечення та методику роботи користувача з програмою.

### **7.1. Системні вимоги**

Для забезпечення стабільної роботи програми для відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони комп'ютер, на якому буде використовуватися програмне забезпечення, має відповідати наступним вимогам:

1. Операційна система MacOS.
2. Вільна пам'ять на жорсткому диску мінімум 800 Мб.
3. Процесор Intel Core i5 та вище з тактовою частотою 1.4 ГГц.
4. Відеокарта Intel HD Graphics та краще.
5. Оперативна пам'ять на комп'ютері від 2 Гб.

### **7.2. Робота з програмним модулем**

Завантаження програмного додатку виконується запуском виконуючого файлу, що знаходиться в системному каталозі, у якому зберігається модуль програмного комплексу.

Після запуску виконуваного файлу системи користувач побачить головне вікно додатку "System for tracking vegetation changes in the Chornobyl zone" (рисунок 7.1). Програма містить 6 кнопок, за допомогою яких виконуються розрахунки. Для кожного знімка є панель інструментів, з допомогою якої можна налаштувати відображення, масштабувати зображення та переміщатися по ньому, а також зберегти при потребі.

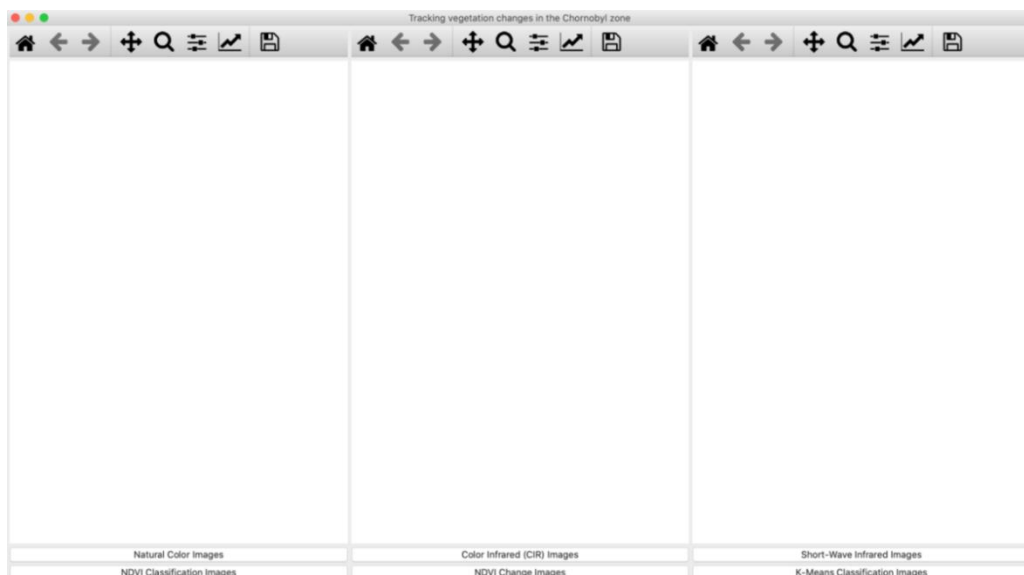


Рис. 7.1 – Головне вікно додатку

Натиснувши кнопку "Natural Color Images", користувач побачить знімки в "натуральних кольорах" (рисунк 7.2) і зможе візуально оцінити та порівняти їх. Натуральний кольоровий композит використовує смугову комбінацію червоного, зеленого та синього. Він відтворюється близько до того, що бачить наше людське око. У той час як здорова рослинність зелена, нездорова флора – коричнева. Міські об'єкти виглядають білими та сірими, а вода – темно-синьою або чорною.

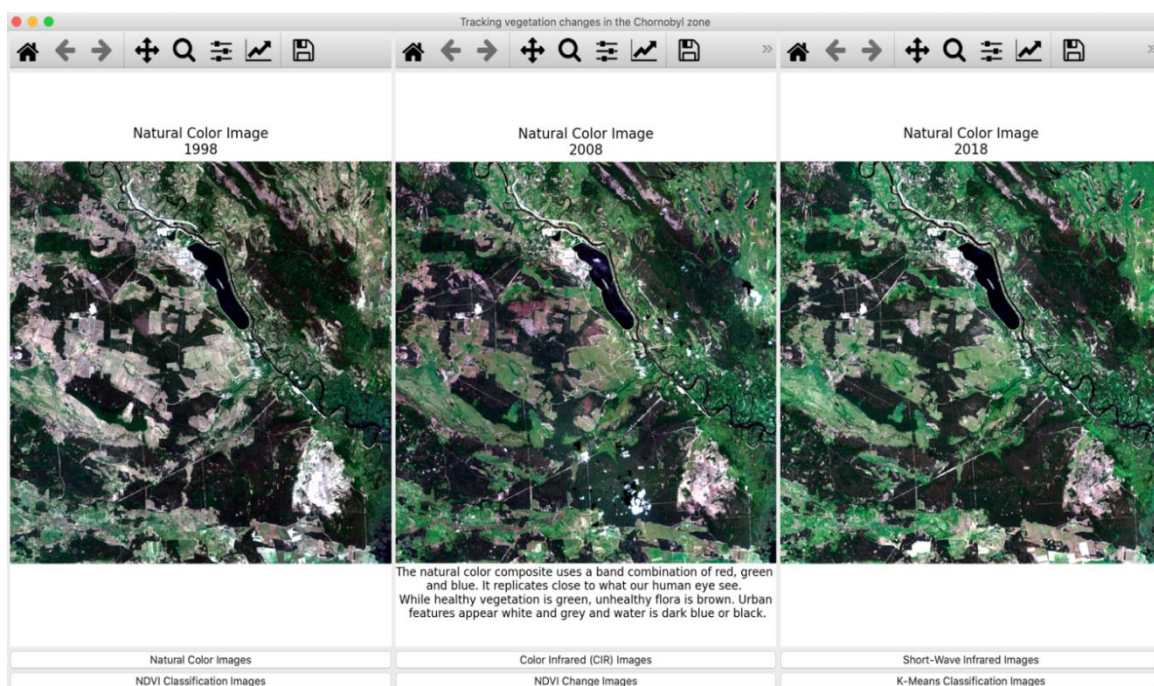


Рис. 7.2 – Знімки в "натуральних кольорах"

Скориставшись кнопкою "Color Infrared (CIR) Images", користувач зможе побачити знімки в інфрачервоному спектрі (рисунок 7.3). Ця комбінація смуг також називається композитом ближнього інфрачервоного. Він використовує ближній інфрачервоний та зелений. Оскільки хлорофіл відображається поблизу інфрачервоного світла, то ця смугова композиція корисна для аналізу рослинності. Зокрема, червоні ділянки мають кращий стан рослинності. Темні ділянки – вода, а міські – білі.

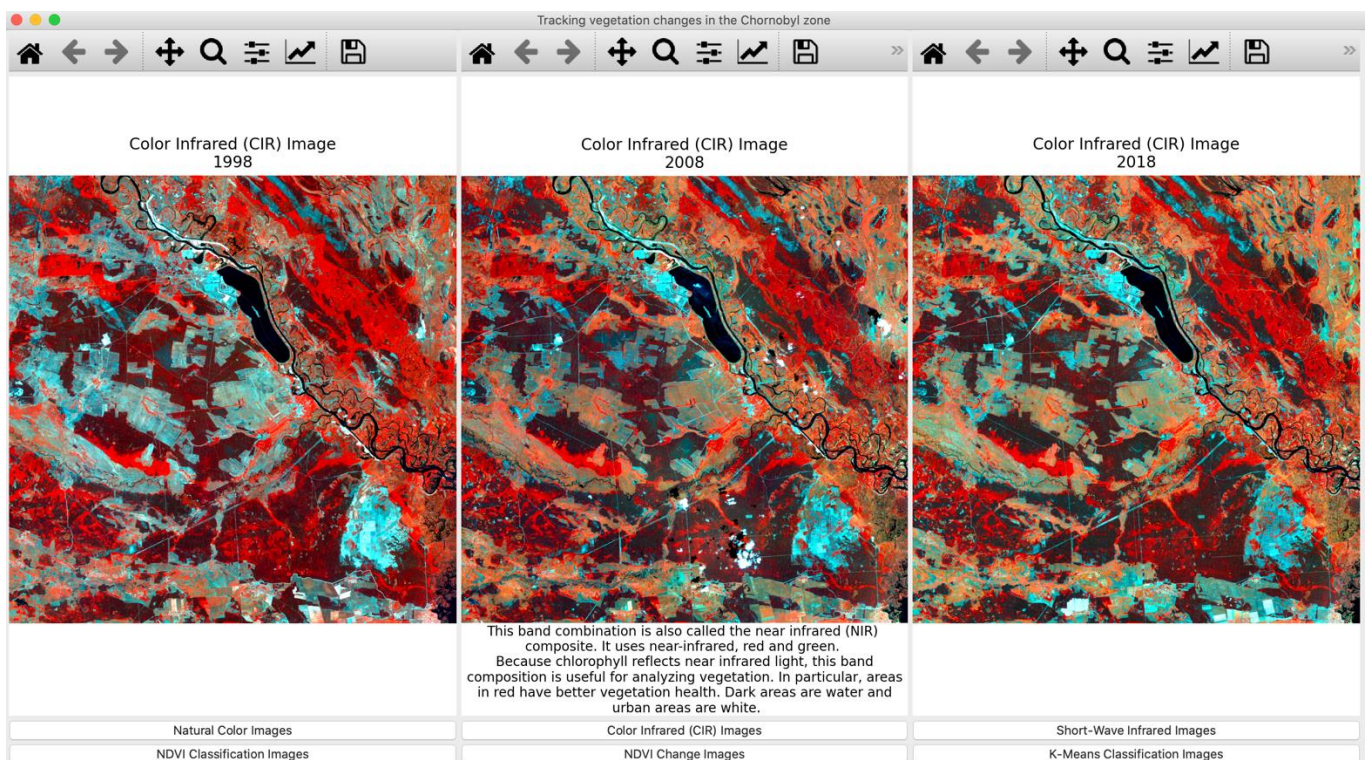


Рис. 7.3 – Знімки в інфрачервоному спектрі

Натиснувши кнопку "Short-Wave Infrared Images", користувач зможе бачити знімки в короткохвильовому інфрачервоному спектрі (рисунок 7.4). Короткохвильова інфрачервона комбінація використовує SWIR-2, SWIR-1 та червоний. Цей композит відображає рослинність у відтінках зеленого. У той час як темніші відтінки зеленого вказують на більш щільну рослинність, розріджена рослинність має світліші відтінки. Міські райони блакитні, а ґрунти мають різні відтінки коричневого.



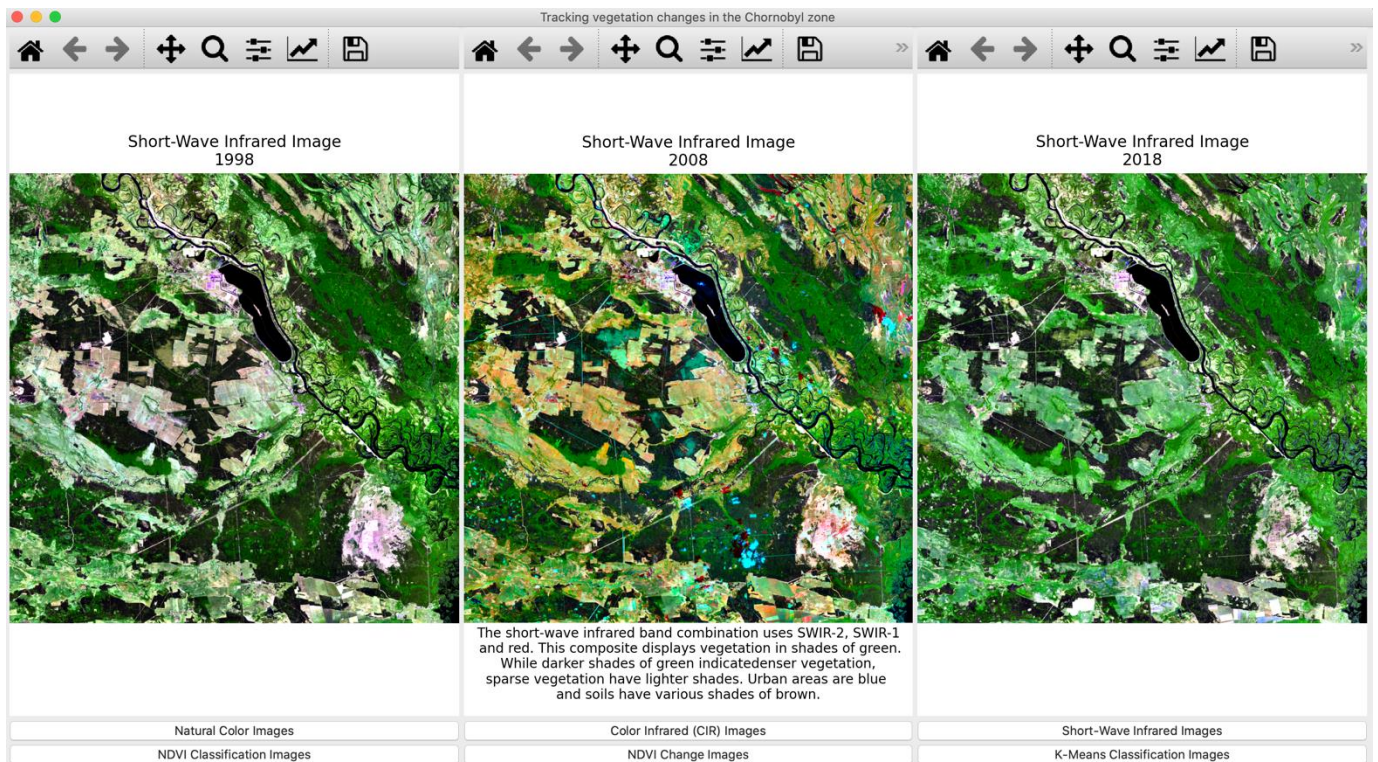


Рис. 7.4 – Знімки в короткохвильовому інфрачервоному спектрі

Коли користувач натисне кнопку "NDVI Classification Images", то побачить класифікацію знімків за розрахованими індексами вегетації (рисунок 7.5). Індекс вегетації використовує властивості червоного (який поглинає рослинність) та поблизу інфрачервоних смуг (що сильно відображає рослинність). Як впливає з назви, ми використовуємо її для моніторингу здоров'я та енергії рослинності.

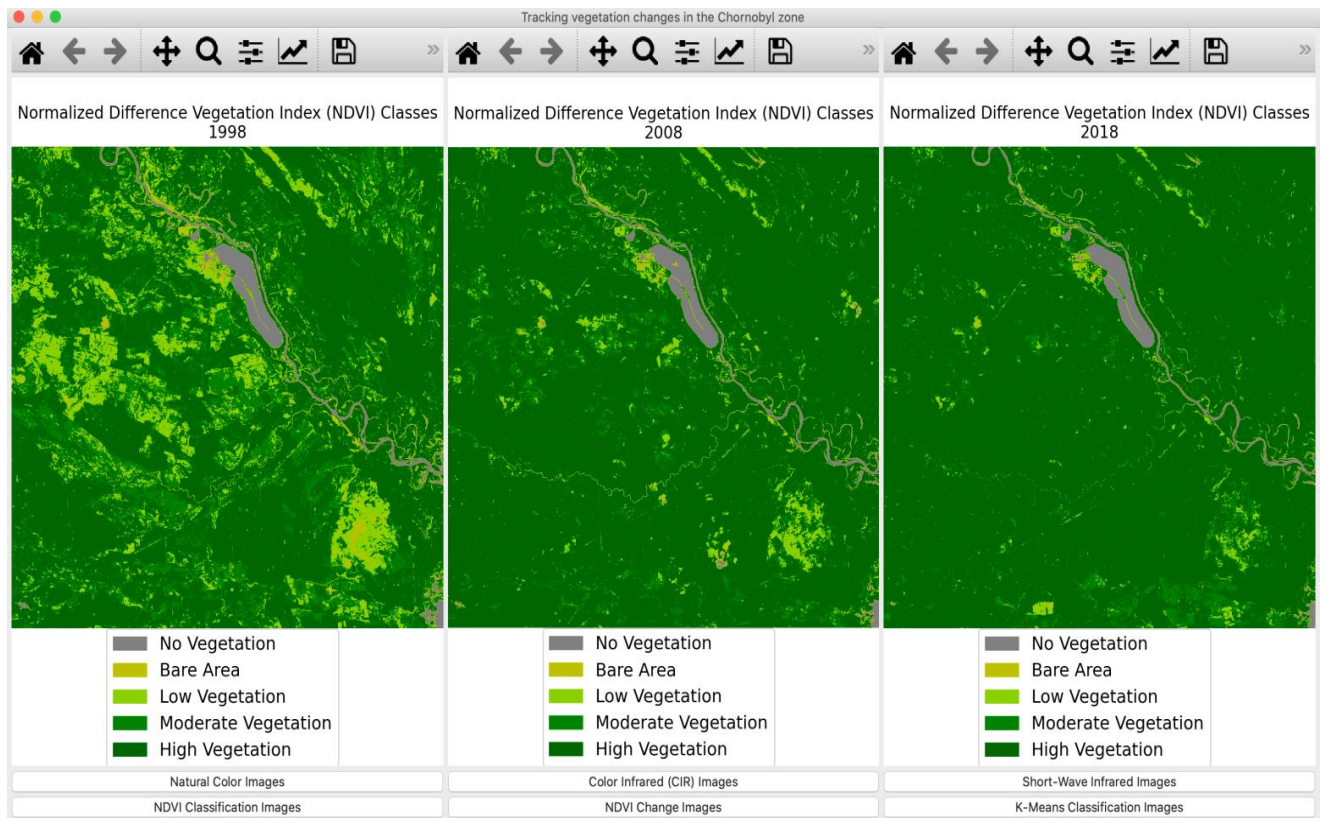


Рис. 7.5 – Класифікація знімків за розрахованими індексами вегетації

Також результати класифікації будуть відображені графічно (рисунок 7.6).

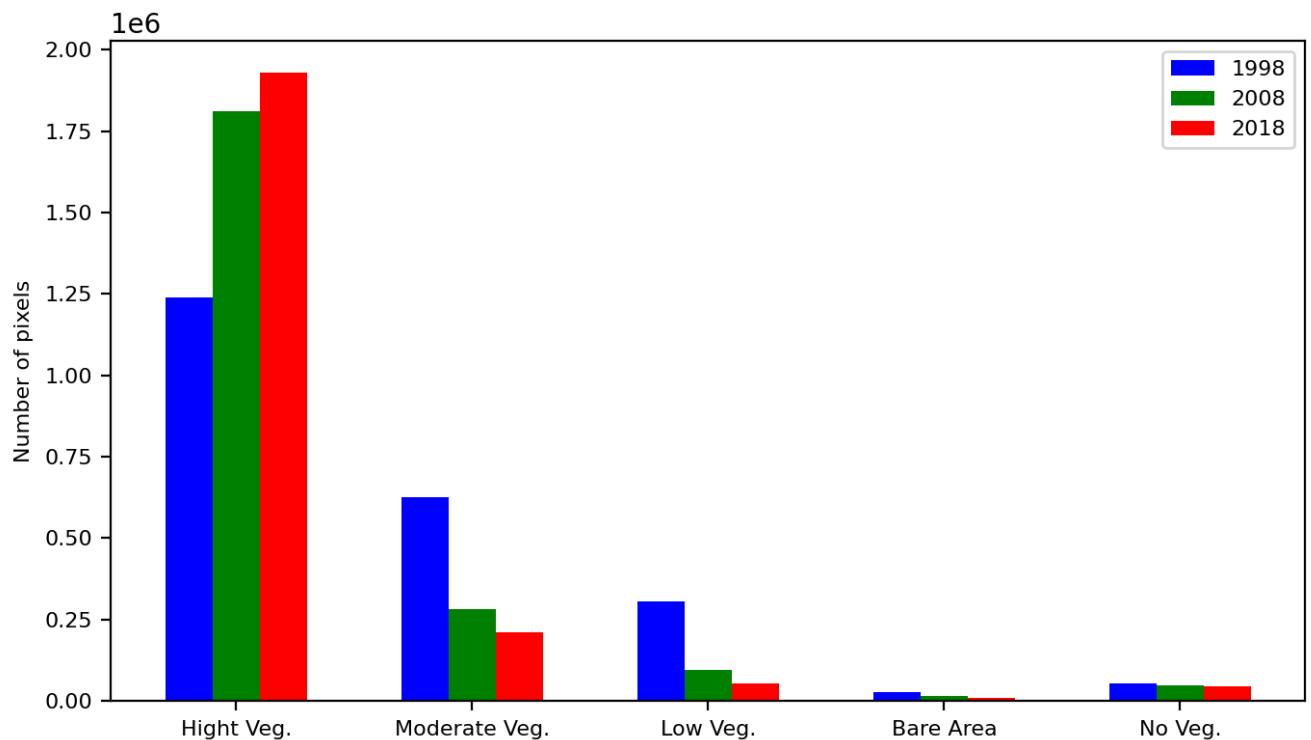


Рис. 7.6 – Діаграма кількісного порівняння класів



Використавши кнопку "NDVI Change Images", перед користувачем з'являться зображення, які відображають зміни рослинності за показниками вегетаційного індексу (рисунок 7.7).

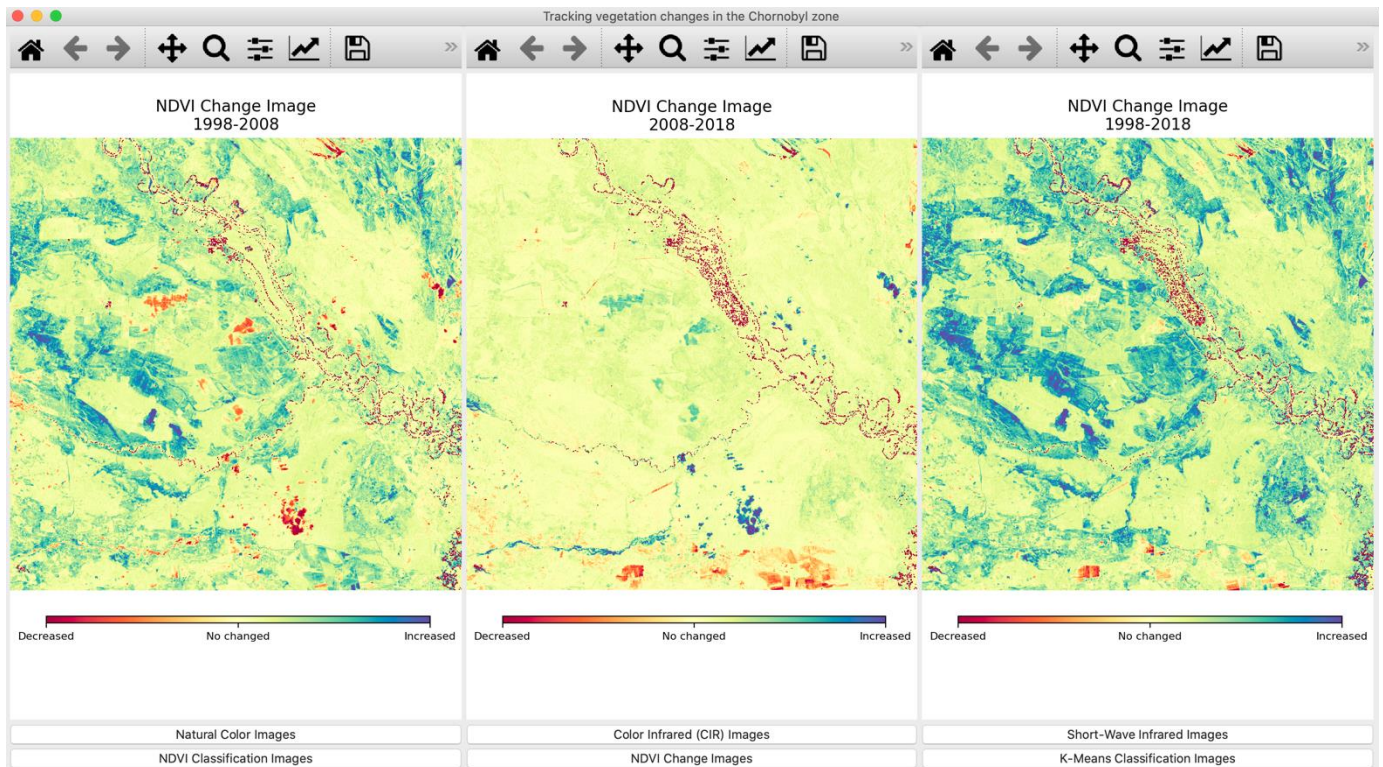


Рис. 7.7 – Відображення змін рослинності

Натиснувши кнопку "K-Means Classification Images", користувач матиме змогу бачити класифікацію знімків за допомогою методу k-середніх (рисунок 7.8). Неточності класифікації: тінь на зображенні класифікована як вода.

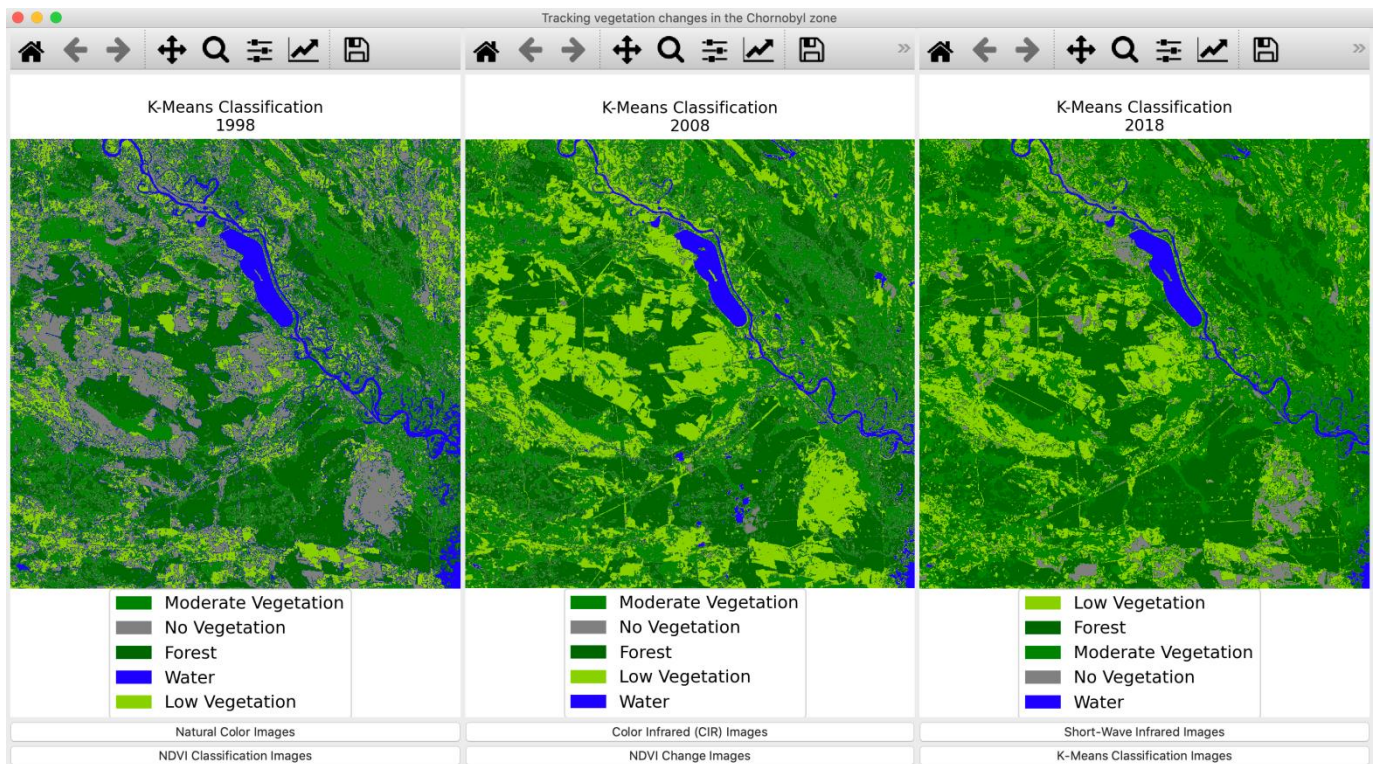


Рис. 7.8 – Класифікація знімків за допомогою методу к-середніх

Для кращого розуміння результатів користувачеві буде представлено діаграму кількісного порівняння класів за 1998, 2008 та 2018 роки (рисунок 7.9).

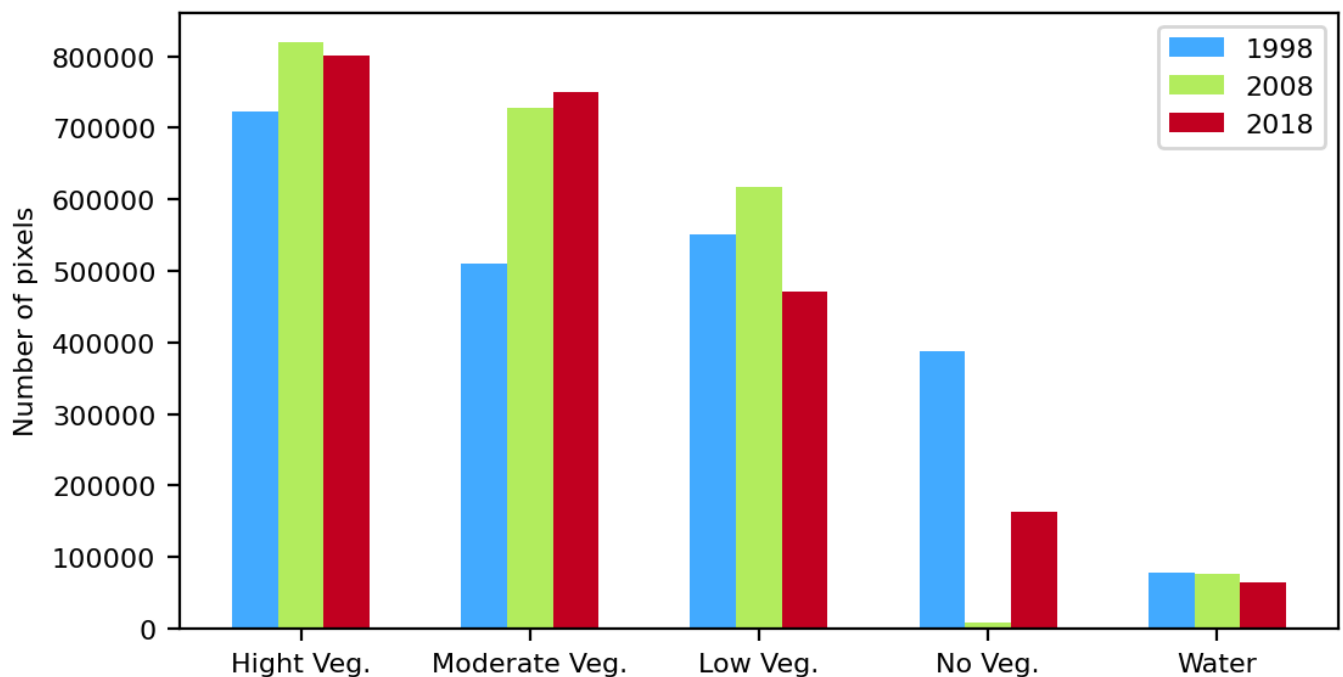


Рис. 7.9 – Діаграма кількісного порівняння класів



Натиснувши в меню кнопку "About", з'явиться вікно з коротким описом програми (рисунок 7.10).

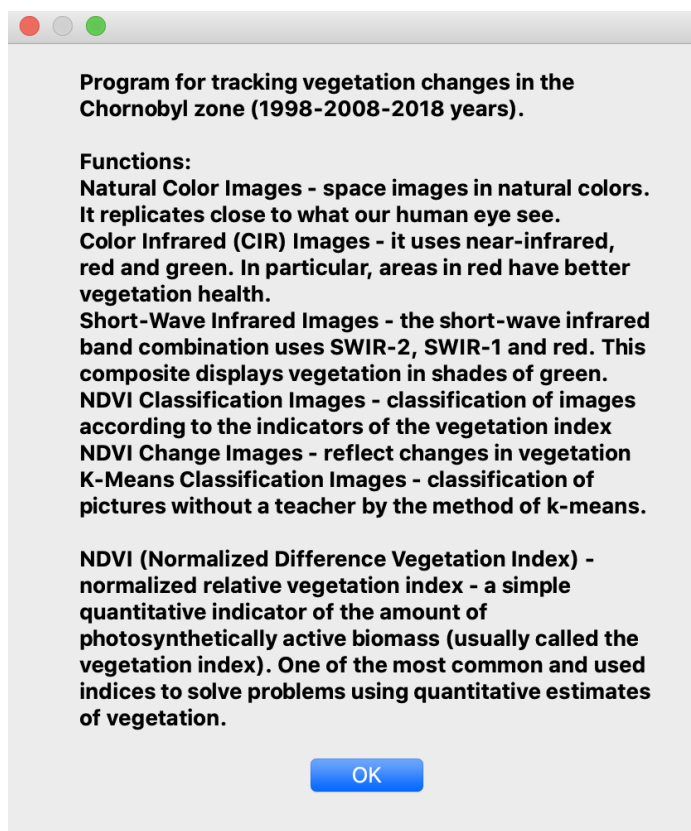


Рис. 7.10 – Короткий опис програми

## ВИСНОВКИ

У дипломній роботі подано теоретичне узагальнення і запропоновано вирішення задачі, що полягає у розробці програмного забезпечення системи відслідковування змін рослинності території Чорнобильської зони на основі даних багатоспектральних космічних знімків для підвищення його оперативності, інформативності та об'єктивності.

У даній роботі досягнуто поставленої мети – розроблено комп'ютерну програму для відслідковування змін рослинності зони відчуження з урахуванням сучасних вимог до розробки програмного забезпечення.

Основні результати дипломної роботи дозволяють зробити такі висновки:

1. Проведено аналіз сучасних систем відслідковування змін рослинності.
2. Здійснено огляд існуючих методів оцінки стану рослинного покриву за допомогою багатоспектральних даних. Виправдана основна можливість використання багатоспектральних супутникових знімків для підвищення значущості та ефективності оцінки рослинності в зоні відчуження. Виявлено часові закономірності розподілу нормалізованого вегетаційного індексу (NDVI) за період 1998-2018 рр., та на їх основі встановлено загальну тенденцію до покращення стану рослинного покриву за досліджуваний період.
3. Розглянуто сучасні засоби створення десктопних застосунків.
4. Визначено завдання дослідження та сформована загальна схема його проведення, яка включає в себе проміжні методики визначення кількісних та якісних показників рослинності, аналізу довготривалих часових серій багатоспектральних космічних знімків. Досліджено особливості опрацювання та аналізу даних дистанційного зондування Землі.
5. Розглянуто методи попередньої обробки космічних знімків, потрібні для розв'язання задач оцінювання стану рослинності територій. Проведено аналіз стану рослинного покриву на основі серії супутникових знімків Landsat території Чорнобильської зони. Проаналізовано різночасові серії

супутникових знімків та встановлено можливості їх потенційного застосування для довгострокового моніторингу рослинних угруповань.

6. Розроблено комп'ютерну програму для відслідковування змін рослинності з урахуванням сучасних вимог до розробки програмного забезпечення. Модуль написано на мові Python та інтерфейс реалізований за допомогою середовища розробки PyCharm та набору бібліотек PyQt5.

Отже, можна зробити висновки, що запропонована методика є досить гнучкою і універсальною, вона може бути порівняно легко адаптована для застосування не тільки для оцінки стану рослинного покриву Чорнобильської зони, але і для інших територій із обмеженим доступом.

Таким чином, на основі проведених досліджень було розроблено методику комплексної автоматизованої оцінки стану рослинного покриття території зони відчуження з використанням космічних знімків. Розглянуті на прикладі Чорнобильської зони зазначені підходи довели свою ефективність для аналізу динаміки стану рослинних угруповань в часі та дозволили виявити загальні тенденції позитивної зміни рослинного покриву на досліджуваній території.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 20 років Чорнобильської катастрофи. Погляд у майбутнє: Національна доповідь України [Електронний ресурс] – К.: Атіка, 2006. – 224 с.
2. Radakovich J. D. Results from global land-surface data assimilation methods / J. D. Radakovich, P. R. Houser, A. da Silva, M. G. Bosilovich // American Meteorological Society, 2001. – P. 132–134.
3. C. Donald Ahrens and Others. Meteorology Today. Cengage Learning, 2016.662 p.
4. Кохан С. С. Дослідження динаміки вегетаційних індексів для оцінювання стану сільськогосподарських культур на основі даних IRS-1D LISS-III / С. С. Кохан // Вісник геодезії та картографії, 2011. – № 4(73). – С. 20–24.
5. Костюченко Ю. В. Оцінка невизначеностей при визначенні продуктивності рослинного покриву та формуванні вуглецевого балансу територій за даними ДЗЗ / Ю. В. Костюченко, Д. М. Мовчан, І. Г. Артеменко, Ю. Г. Білоус // Геоінформатика, 2013. – № 3(47). – С. 67–75.
6. Кохан С. С. Застосування вегетаційних індексів на основі серії космічних знімків IRS-1D LISS-III для визначення стану посівів сільськогосподарських культур / С. С. Кохан // Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17, № 5. – С. 58.
7. Бардиш Б. Використання вегетаційних індексів для ідентифікації об'єктів земної поверхні/ Бардиш Б., Бурштинська Х. // Сучасні досягнення геодезичної науки 82 та виробництва. – 2014. – № 2 (28). – С. 82-88.
8. Бурштинська Х., Долинська І. Врахування впливу атмосфери під час опрацювання космічних зображень // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С. 70–73.
9. Tucker C. J. An extended AVHRR 8-km NDVI dataset compatible with MODIS and SPOT vegetation NDVI data / C. J. Tucker, J. E. Pinzon, M. E. Brown, D. A. Slayback, E. W. Pak, R. Mahone, E. F. Vermote, N. El Saleous // International Journal of Remote Sensing, 2005. – Vol. 26. – No. 20. – P. 4485–4498.

10. Verbyla D. L. Assessment of the MODIS Leaf Area Index Product (MOD15) in Alaska / D. L. Verbyla // International Journal of Remote Sensing, 2005. – Vol. 26. – No. 6. – P. 1277–1284.
11. Лялько В. І., Сахацький О. І., Азімов О. Т. та ін. Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності Зони відчуження ЧАЕС // Матер. наук.-техн. семінару «Нові методи в аерокосмічному землезнавстві», 27—28 травня 1999 р. — Київ, 1999. — С. 105—113.
12. С.В. Солодянкина. Возможности использования данных дистанционного зондирования в крупномасштабном ландшафтном планировании. Материалы Международной научной конференции Ландшафтное планирование: итоги и перспективы. Иркутск. 2006.
13. И.А. Зубков, В.О. Скрипачев. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ. ФГУП «Научный центр космических информационных систем и технологий наблюдения». Москва 2007.
14. Руководство пользователя. Программа обработки данных дистанционного зондирования Земли ScanEx Image Processor v. 3.0. Москва, 2008 г.
15. Бунтова О.Г. Оцінка екологічного стану лісових насаджень в зоні відчуження ЧАЕС / О.Г. Бунтова, М.Д. Кучма, М.Г. Зленко // Тези доп. наук.-практи. конф. «Наука. Чорнобиль-97». – Київ, 11–12 лютого 1998 р. – К.: УРУЦ, 1998. – С. 97–98.
16. Чорнобиль. Наслідки для довкілля, здоров'я та прав людини. — . Відень, Австрія 12-15 квітня 1996р.-К : ІВЦ "Енергія майбутнього століття", 1999. - 231 с.
17. Барсегян А.А. Технология анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
18. Машинне навчання на Python, перше видання: навчальний посібник / Себастьян Рашка, Бірмінгем, 2015. 420 с.

19. С.М. Андрєєв, В.А. Жилін, А.С. Топчий. Методика застосування бібліотек комп'ютерного зору для побудови картографічних моделей // Системи управління, навігації та зв'язку, 2018, випуск 1(47). – С. 3-7.
20. Global percent tree cover spatial resolution of 500 meters: first results of the MODIS Vegetation Continuous Fields algorithm / M. C. Hansen, R. S. DeFries, J. R. G. Townshend et al. // Earth Interactions. – 2003. – Vol. 7. – P. 1–15.
21. High-resolution global maps of 2-century forest cover change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore // Science. – 2013. – Vol. 342. – P. 850–853.
22. Лакида П. І. Аналіз та інтерпретація карти високого просторового розрізнення лісових екосистем Полісся України / Лакида П. І., Миронюк В. В., Гілітуха Д. В. // Збалансоване природокористування. – 2014. – № 4. – С. 5–9.
23. Використання геоінформаційних технологій для моніторингу локальних екосистем України / Л. І. Муравський та ін. Відбір і обробка інформації. 2006. № 24. С. 19–30
24. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений / Р.А. Шовенгердт – М.: Техносфера. 2010. – 560 с.
25. Попов М. О. Оцінювання характеристик зелених насаджень з використанням засобів дистанційного зондування Землі / М. О. Попов, І. Д. Семко // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. пр. / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. [та ін.]. – К., 2013. – Вип. 12. – С. 51–62.
26. Кохан С.С. Сучасні підходи до класифікації космічних знімків. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції "Географічні інформаційні системи в аграрних університетах (GISAU)". Херсон. 2007.
27. Свидзинская Д. В., Бруй А. С., Основы QGIS, Киев, 2014. 83 с.

# ДОДАТОК А

Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони

Специфікація

УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»\_ТЕФ\_АПЕПС\_ТМ62

Аркушів 2

Київ – 2020

Позначення	Найменування	Примітки
Документація		
УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» _ТЕФ_АПЕПС_ТМ62191_20Б 81-1	Записка.docx	Текстова частина дипломної роботи
Компоненти		
УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕПС_ ТМ62191_20Б 12-1	Program.py	Модуль основного тіла програми
УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕПС_ ТМ62191_20Б 12-1	Program.py	Функції програми
УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»_ТЕФ_АПЕПС_ ТМ62191_20Б 13-1	Опис.docx	Опис програми



## **ДОДАТОК Б**

Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони

Текст програми

УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»\_ТЕФ\_АПЕПС\_ТМ62191\_20Б 12-1

Аркушів 10

Київ – 2020

```

from functools import partial
from PyQt5.QtWidgets import QPushButton, QMainWindow, QGridLayout, QWidget, QMenu, QAction, QMessageBox
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import FigureCanvasQTAgg as FigureCanvas
from matplotlib.backends.backend_qt5agg import NavigationToolbar2QT as NavigationToolbar
import numpy as np
from skimage import exposure
import rasterio
from matplotlib.colors import ListedColormap
from sklearn import cluster
from osgeo import gdal
import earthpy.plot as ep

class MainWindow(QMainWindow):
    def __init__(self):
        super().__init__()

        w = QWidget()
        self.setCentralWidget(w)
        self.setGeometry(0, 0, 1450, 850)

        self.createActions()
        self.createMenus()

        # a figure instance to plot on
        self.figure1 = plt.figure(figsize=(10, 10))
        self.figure2 = plt.figure(figsize=(10, 10))
        self.figure3 = plt.figure(figsize=(10, 10))

        # this is the Canvas Widget that displays the `figure`
        # it takes the `figure` instance as a parameter to __init__
        self.canvas1 = FigureCanvas(self.figure1)
        self.canvas2 = FigureCanvas(self.figure2)
        self.canvas3 = FigureCanvas(self.figure3)

        # this is the Navigation widget
        # it takes the Canvas widget and a parent
        self.toolbar1 = NavigationToolbar(self.canvas1, self)
        self.toolbar2 = NavigationToolbar(self.canvas2, self)
        self.toolbar3 = NavigationToolbar(self.canvas3, self)

        self.button1 = QPushButton('Natural Color Images')
        self.button2 = QPushButton('Color Infrared (CIR) Images')
        self.button3 = QPushButton('Short-Wave Infrared Images')
        self.button4 = QPushButton('NDVI Classification Images')
        self.button5 = QPushButton('NDVI Change Images')
        self.button6 = QPushButton('K-Means Classification Images')

        layout = QGridLayout()
        layout.addWidget(self.toolbar1, 0, 0)
        layout.addWidget(self.canvas1, 1, 0)
        layout.addWidget(self.button1, 2, 0)

        layout.addWidget(self.toolbar2, 0, 1)
        layout.addWidget(self.canvas2, 1, 1)
        layout.addWidget(self.button2, 2, 1)

        layout.addWidget(self.toolbar3, 0, 2)
        layout.addWidget(self.canvas3, 1, 2)
        layout.addWidget(self.button3, 2, 2)

        layout.addWidget(self.button4, 3, 0)
        layout.addWidget(self.button5, 3, 1)
        layout.addWidget(self.button6, 3, 2)

        layout.setContentsMargins(5, 0, 5, 0)
        layout.setSpacing(5)

```

```

w.setLayout(layout)

self.setWindowTitle("Tracking vegetation changes in the Chornobyl zone")

text_NC = "The natural color composite uses a band combination of red, green \nand blue. It " \
"replicates close to what our human eye see. \nWhile healthy vegetation is green, " \
"unhealthy flora is brown. Urban\n features appear white and grey and water is dark blue " \
"or black."

NC_1998 = partial(self.open, '1998/red_1998.tif', '1998/green_1998.tif', '1998/blue_1998.tif', self.figure1,
self.canvas1, "Natural Color Image\n1998", " ")
NC_2008 = partial(self.open, '2008/red_2008.tif', '2008/green_2008.tif', '2008/blue_2008.tif', self.figure2,
self.canvas2, "Natural Color Image\n2008", text_NC, -0.135)
NC_2018 = partial(self.open, '2018/red_2018.tif', '2018/green_2018.tif', '2018/blue_2018.tif', self.figure3,
self.canvas3, "Natural Color Image\n2018", " ")

self.button1.clicked.connect(NC_1998)
self.button1.clicked.connect(NC_2008)
self.button1.clicked.connect(NC_2018)

text_CIR = "This band combination is also called the near infrared (NIR) \ncomposite. It uses " \
"near-infrared, red and green. \nBecause chlorophyll reflects near infrared light, this band\n " \
"composition is useful for analyzing vegetation. In particular, areas \nin red have better " \
"vegetation health. Dark areas are water and\n urban areas are white."

CIR_1998 = partial(self.open, '1998/nir_1998.tif', '1998/green_1998.tif', '1998/blue_1998.tif',
self.figure1, self.canvas1, "Color Infrared (CIR) Image\n1998", "")
CIR_2008 = partial(self.open, '2008/nir_2008.tif', '2008/green_2008.tif', '2008/blue_2008.tif',
self.figure2, self.canvas2, "Color Infrared (CIR) Image\n2008", text_CIR, -0.2)
CIR_2018 = partial(self.open, '2018/nir_2018.tif', '2018/green_2018.tif', '2018/blue_2018.tif',
self.figure3, self.canvas3, "Color Infrared (CIR) Image\n2018", "")

text_IR = "The short-wave infrared band combination uses SWIR-2, SWIR-1\n and red. " \
"This composite displays vegetation in shades of green.\n While darker shades of green indicate" \
"denser vegetation, \nsparse vegetation have lighter shades. Urban areas are blue \nand soils have " \
"various shades of brown."

self.button2.clicked.connect(CIR_1998)
self.button2.clicked.connect(CIR_2008)
self.button2.clicked.connect(CIR_2018)

IR_1998 = partial(self.open, '1998/swir2_1998.tif', '1998/swir1_1998.tif', '1998/red_1998.tif', self.figure1,
self.canvas1, "Short-Wave Infrared Image\n1998", "")
IR_2008 = partial(self.open, '2008/swir2_2008.tif', '2008/swir1_2008.tif', '2008/red_2008.tif', self.figure2,
self.canvas2, "Short-Wave Infrared Image\n2008", text_IR, -0.17)
IR_2018 = partial(self.open, '2018/swir2_2018.tif', '2018/swir1_2018.tif', '2018/red_2018.tif', self.figure3,
self.canvas3, "Short-Wave Infrared Image\n2018", "")

self.button3.clicked.connect(IR_1998)
self.button3.clicked.connect(IR_2008)
self.button3.clicked.connect(IR_2018)

ndvi_1998 = partial(self.ndvi, '1998/red_1998.tif', '1998/nir_1998.tif', self.figure1, self.canvas1, "1998")
ndvi_2008 = partial(self.ndvi, '2008/red_2008.tif', '2008/nir_2008.tif', self.figure2, self.canvas2, "2008")
ndvi_2018 = partial(self.ndvi, '2018/red_2018.tif', '2018/nir_2018.tif', self.figure3, self.canvas3, "2018")

self.button4.clicked.connect(ndvi_1998)
self.button4.clicked.connect(ndvi_2008)
self.button4.clicked.connect(ndvi_2018)
self.button4.clicked.connect(self.window_ndvi_bar)

change_1998_2008 = partial(self.change, self.figure1, self.canvas1, '1998/red_1998.tif', '1998/nir_1998.tif',
'2008/red_2008.tif', '2008/nir_2008.tif', "1998", "2008")
change_2008_2018 = partial(self.change, self.figure2, self.canvas2, '2008/red_2008.tif', '2008/nir_2008.tif',
'2018/red_2018.tif', '2018/nir_2018.tif', "2008", "2018")

```

```

change_1998_2018 = partial(self.change, self.figure3, self.canvas3, '1998/red_1998.tif', '1998/nir_1998.tif',
                           '2018/red_2018.tif', '2018/nir_2018.tif', "1998", "2018")

self.button5.clicked.connect(change_1998_2008)
self.button5.clicked.connect(change_2008_2018)
self.button5.clicked.connect(change_1998_2018)

self.button6.clicked.connect(partial(self.classification_1998, self.figure1, self.canvas1))
self.button6.clicked.connect(partial(self.classification_2008, self.figure2, self.canvas2))
self.button6.clicked.connect(partial(self.classification_2018, self.figure3, self.canvas3))

self.button6.clicked.connect(self.window_kmeans_bar)

def open(self, red_file, green_file, blue_file, figure, canvas, year, text, pad):
    # Open the file:
    red = gdal.Open(red_file).ReadAsArray()
    green = gdal.Open(green_file).ReadAsArray()
    blue = gdal.Open(blue_file).ReadAsArray()

    # Normalize bands into 0.0 - 1.0 scale
    def normalize(array):
        array_min, array_max = array.min(), array.max()
        return (array - array_min) / (array_max - array_min)

    # Normalize band DN
    blue_norm = normalize(blue)
    red_norm = normalize(red)
    green_norm = normalize(green)

    blue_equalize = exposure.equalize_adapthist(blue_norm, clip_limit=0.01)
    red_equalize = exposure.equalize_adapthist(red_norm, clip_limit=0.01)
    green_equalize = exposure.equalize_adapthist(green_norm, clip_limit=0.01)

    p2, p98 = np.percentile(blue_equalize, (2, 98))
    blue_rescale = exposure.rescale_intensity(blue_equalize, in_range=(p2, p98))

    p2, p98 = np.percentile(red_equalize, (2, 98))
    red_rescale = exposure.rescale_intensity(red_equalize, in_range=(p2, p98))

    p2, p98 = np.percentile(green_equalize, (2, 98))
    green_rescale = exposure.rescale_intensity(green_equalize, in_range=(p2, p98))

    # Stack bands
    nrg = np.dstack((red_rescale, green_rescale, blue_rescale))

    # discards the old graph
    canvas.figure.clear()

    # create an axis
    ax = figure.add_subplot()

    figure.subplots_adjust(left=0, right=1)

    # plot data
    ax.imshow(nrg)
    ax.set_title(year)
    ax.set_axis_off()

    if canvas == self.canvas2:
        ax.text(0.5, pad, text, transform=ax.transAxes, horizontalalignment='center')

    canvas.draw_idle()

def ndvi(self, red_file, nir_file, figure, canvas, year):
    red_band = rasterio.open(red_file)
    nir_band = rasterio.open(nir_file)

```

```

red = red_band.read(1).astype('float64')
nir = nir_band.read(1).astype('float64')

ndvi = np.where(
    (nir + red) == 0,
    0,
    (nir - red) / (nir + red)
)

ndvi_class_bins = [-np.inf, 0, 0.1, 0.25, 0.4, np.inf]
ndvi Landsat class = np.digitize(ndvi, ndvi_class_bins)
ndvi Landsat class = np.ma.masked_where(np.ma.getmask(ndvi), ndvi Landsat class)
np.unique(ndvi Landsat class)

nbr_colors = ["gray", "y", "yellowgreen", "g", "darkgreen"]
nbr_cmap = ListedColormap(nbr_colors)

# Define class names
ndvi_cat_names = [
    "No Vegetation",
    "Bare Area",
    "Low Vegetation",
    "Moderate Vegetation",
    "High Vegetation",
]

classes = np.unique(ndvi Landsat class)
classes = classes.tolist()

classes = classes[0:5]

canvas.figure.clear()

ax = figure.add_subplot()
figure.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0.1)

im = ax.imshow(ndvi Landsat class, cmap=nbr_cmap)
ax.set_axis_off()
ep.draw_legend(im_ax=im, classes=classes, titles=ndvi_cat_names, bbox=(0.22, 0))

ax.set_title(
    "Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Classes\n" + year,
)
canvas.draw_idle()

def change(self, figure, canvas, red_file1, nir_file1, red_file2, nir_file2, year1, year2):
    # Open raster bands
    nir1 = gdal.Open(nir_file1)
    red1 = gdal.Open(red_file1)
    nir2 = gdal.Open(nir_file2)
    red2 = gdal.Open(red_file2)

    # Read bands as matrix arrays
    nir2_Data = nir2.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)
    red2_Data = red2.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)
    nir1_Data = nir1.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)
    red1_Data = red1.GetRasterBand(1).ReadAsArray().astype(np.float32)

    ndvi1 = np.divide(nir1_Data - red1_Data, nir1_Data + red1_Data,
                      where=(nir1_Data - red1_Data) != 0)
    ndvi1[ndvi1 == 0] = -999

    ndvi2 = np.divide(nir2_Data - red2_Data, nir2_Data + red2_Data,
                      where=(nir2_Data - red2_Data) != 0)
    ndvi2[ndvi2 == 0] = -999

```

```

ndviChange = ndvi2 - ndvi1
ndviChange = np.where((ndvi1 > -999) & (ndvi2 > -999), ndviChange, -999)

canvas.figure.clear()

ax = figure.add_subplot()
figure.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0.1)

im = ax.imshow(ndviChange, vmin=-0.4, vmax=0.4, cmap='Spectral')
ax.set_axis_off()

cbaxes = figure.add_axes([0.08, 0.15, 0.85, 0.01])
cbar = figure.colorbar(im, cax=cbaxes, orientation="horizontal", ticks=[-0.4, 0, 0.4])
cbar.ax.set_xticklabels(['Decreased', 'No changed', 'Increased'], fontsize=8)

ax.set_title(
    "NDVI Change Image\n" + year1 + "-" + year2,
)
canvas.draw_idle()

def classification_1998(self):
    # Tell GDAL to throw Python exceptions, and register all drivers
    gdal.UseExceptions()
    gdal.AllRegister()

    nbr_colors = ["darkgreen", "grey", "yellowgreen", "green", "blue"]
    nbr_cmap = ListedColormap(nbr_colors)

    # Define class names
    names = [
        "No Vegetation",
        "Water",
        "Low Vegetation",
        "Build",
        "Forest",
    ]

    # Read in raster image
    blue_file = gdal.Open('1998/blue_1998.TIF').ReadAsArray()
    green_file = gdal.Open('1998/green_1998.TIF').ReadAsArray()
    red_file = gdal.Open('1998/red_1998.TIF').ReadAsArray()
    nir_file = gdal.Open('1998/nir_1998.TIF').ReadAsArray()
    swir1_file = gdal.Open('1998/swir1_1998.TIF').ReadAsArray()
    tir_file = gdal.Open('1998/tir_1998.TIF').ReadAsArray()
    swir2_file = gdal.Open('1998/swir2_1998.TIF').ReadAsArray()
    tifs = [blue_file, green_file, red_file, nir_file, swir1_file, tir_file, swir2_file]

    img_d = np.stack(tifs)
    img = np.zeros((1500, 1500, 7), np.float32)

    for b in range(img.shape[2]):
        img[:, :, b] = img_d[b]

    new_shape = (img.shape[0] * img.shape[1], img.shape[2])

    X = img[:, :, :7].reshape(new_shape)

    k_means = cluster.KMeans(n_clusters=5, random_state=0)
    k_means.fit(X)

    X_cluster = k_means.labels_

    X_cluster = X_cluster.reshape(img[:, :, 0].shape)

    classes = X_cluster

```

```

classes = classes[0:5]

ax1 = self.figure1.add_subplot()
self.figure1.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0.1)
print(X_cluster)

im = ax1.imshow(X_cluster, cmap=nbr_cmap)
ax1.set_axis_off()
ep.draw_legend(im_ax=im, classes=classes, titles=names, bbox=(0.22, 0))

ax1.set_title(
    "K-Means Classification\n1998",
)
self.canvas1.draw_idle()

def classification_2008(self):
    # Tell GDAL to throw Python exceptions, and register all drivers
    gdal.UseExceptions()
    gdal.AllRegister()

    nbr_colors = ["darkgreen", "grey", "yellowgreen", "green", "blue"]
    nbr_cmap = ListedColormap(nbr_colors)

    # Define class names
    names = [
        "No Vegetation",
        "Water",
        "Low Vegetation",
        "Build",
        "Forest",
    ]

    # Read in raster image
    blue_file = gdal.Open('2008/blue_2008.TIF').ReadAsArray()
    green_file = gdal.Open('2008/green_2008.TIF').ReadAsArray()
    red_file = gdal.Open('2008/red_2008.TIF').ReadAsArray()
    nir_file = gdal.Open('2008/nir_2008.TIF').ReadAsArray()
    swir1_file = gdal.Open('2008/swir1_2008.TIF').ReadAsArray()
    tir_file = gdal.Open('2008/tir_2008.TIF').ReadAsArray()
    swir2_file = gdal.Open('2008/swir2_2008.TIF').ReadAsArray()
    tifs = [blue_file, green_file, red_file, nir_file, swir1_file, tir_file, swir2_file]

    img_d = np.stack(tifs)
    img = np.zeros((1500, 1500, 7), np.float32)

    for b in range(img.shape[2]):
        img[:, :, b] = img_d[b]

    new_shape = (img.shape[0] * img.shape[1], img.shape[2])

    X = img[:, :, :7].reshape(new_shape)

    k_means = cluster.KMeans(n_clusters=5, random_state=0)
    k_means.fit(X)

    X_cluster = k_means.labels_

    X_cluster = X_cluster.reshape(img[:, :, 0].shape)

    classes = X_cluster

    classes = classes[0:5]

    ax2 = self.figure2.add_subplot()
    self.figure2.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0.1)

```

```

print(X_cluster)

im = ax2.imshow(X_cluster, cmap=nbr_cmap)
ax2.set_axis_off()
ep.draw_legend(im_ax=im, classes=classes, titles=names, bbox=(0.22, 0))

ax2.set_title(
    "K-Means Classification\n2008",
)
self.canvas2.draw_idle()

def classification_2018(self):
    # Tell GDAL to throw Python exceptions, and register all drivers
    gdal.UseExceptions()
    gdal.AllRegister()

    nbr_colors = ["darkgreen", "grey", "yellowgreen", "green", "blue"]
    nbr_cmap = ListedColormap(nbr_colors)

    # Define class names
    names = [
        "No Vegetation",
        "Water",
        "Low Vegetation",
        "Build",
        "Forest",
    ]

    # Read in raster image
    blue_file = gdal.Open('2018/blue_2018.TIF').ReadAsArray()
    green_file = gdal.Open('2018/green_2018.TIF').ReadAsArray()
    red_file = gdal.Open('2018/red_2018.TIF').ReadAsArray()
    nir_file = gdal.Open('2018/nir_2018.TIF').ReadAsArray()
    swir1_file = gdal.Open('2018/swir1_2018.TIF').ReadAsArray()
    tir_file = gdal.Open('2018/tir_2018.TIF').ReadAsArray()
    swir2_file = gdal.Open('2018/swir2_2018.TIF').ReadAsArray()
    tifs = [blue_file, green_file, red_file, nir_file, swir1_file, tir_file, swir2_file]

    img_d = np.stack(tifs)
    img = np.zeros((1500, 1500, 7), np.float32)

    for b in range(img.shape[2]):
        img[:, :, b] = img_d[b]

    new_shape = (img.shape[0] * img.shape[1], img.shape[2])

    X = img[:, :, :7].reshape(new_shape)

    k_means = cluster.KMeans(n_clusters=5, random_state=0)
    k_means.fit(X)

    X_cluster = k_means.labels_

    X_cluster = X_cluster.reshape(img[:, :, 0].shape)

    classes = X_cluster

    classes = classes[0:5]

    ax3 = self.figure3.add_subplot()
    self.figure3.subplots_adjust(left=0, right=1, top=1, bottom=0.1)
    print(X_cluster)

    im = ax3.imshow(X_cluster, cmap=nbr_cmap)
    ax3.set_axis_off()
    ep.draw_legend(im_ax=im, classes=classes, titles=names, bbox=(0.22, 0))

```



```

        ax3.set_title(
            "K-Means Classification\n2018",
        )
        self.canvas3.draw_idle()

def about(self):
    QMessageBox.about(self, "About Program",
        "Program for tracking vegetation changes in the Chernobyl zone (1998-2008-2018 years).\n\n"
        "Functions:\n"
        "Natural Color Images - space images in natural colors. It replicates close to what our human "
        "eye see.\n"
        "Color Infrared (CIR) Images - it uses near-infrared, red and green. In "
        "particular, areas in red have better vegetation health.\n"
        "Short-Wave Infrared Images - the short-wave infrared band combination uses SWIR-2, SWIR-1 and "
        "red. This composite displays vegetation in shades of green.\n"
        "NDVI Classification Images - classification of images according to the indicators of the "
        "vegetation index\n"
        "NDVI Change Images - reflect changes in vegetation\n"
        "K-Means Classification Images - classification of pictures without a teacher by the method "
        "of k-means.\n\n"
        "NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - normalized relative vegetation index - a "
        "simple quantitative indicator of the amount of photosynthetically active biomass (usually "
        "called the vegetation index). One of the most common and used indices to solve problems using "
        "quantitative estimates of vegetation.")

def createActions(self):
    self.exitAct = QAction("Exit", self)
    self.exitAct.setShortcut('Ctrl+Q')
    self.exitAct.triggered.connect(self.close)

    self.aboutAct = QAction("&About", self)
    self.aboutAct.triggered.connect(self.about)

def createMenus(self):
    self.fileMenu = QMenu("&Help", self)
    self.fileMenu.addAction(self.aboutAct)

    self.menuBar().addMenu(self.fileMenu)

def window_ndvi_bar(self):
    self.dialog = Plot_Window()
    self.dialog.ndvi_bar()
    self.dialog.show()

def window_kmeans_bar(self):
    self.dialog = Plot_Window()
    self.dialog.kmeans_bar()
    self.dialog.show()

class Plot_Window(QMainWindow):
    def __init__(self):
        super().__init__()

        self.figure = plt.figure(figsize=(3.9, 1.3))
        self.canvas = FigureCanvas(self.figure)
        self.setCentralWidget(self.canvas)
        self.setGeometry(0, 0, 470, 130)

    def ndvi_bar(self):
        data = [[1239054, 625720, 305044, 26446, 53736],
                [1810555, 282659, 95393, 13792, 47601],
                [1930850, 211142, 55115, 9440, 43453]]

        X = np.arange(5)

```

```

ax = self.figure.add_subplot()

ax.bar(X + 0.0, data[0], color='b', width=0.2)
ax.bar(X + 0.2, data[1], color='g', width=0.2)
ax.bar(X + 0.4, data[2], color='r', width=0.2)

names = [
    "Hight Veg.",
    "Moderate Veg.",
    "Low Veg.",
    "Bare Area",
    "No Veg.",
]

plt.xticks(X + 0.2, names, fontsize=8)
plt.yticks(fontsize=8)
plt.ylabel("Number of pixels", fontsize=8)
ax.legend(labels=['1998', '2008', '2018'], fontsize=8)
self.figure.tight_layout()

self.setWindowTitle('NDVI')

self.canvas.draw()

def kmeans_bar(self):
    data = [[722860, 510746, 550318, 388227, 77849],
            [820060, 728286, 617213, 7760, 76681],
            [801577, 749438, 471225, 163491, 64269]]

    X = np.arange(5)

    ax = self.figure.add_subplot()

    ax.bar(X + 0.0, data[0], color='#42AAFF', width=0.2)
    ax.bar(X + 0.2, data[1], color='#B2EC5D', width=0.2)
    ax.bar(X + 0.4, data[2], color='#C10020', width=0.2)

    names = [
        "Hight Veg.",
        "Moderate Veg.",
        "Low Veg.",
        "No Veg.",
        "Water",
    ]

    plt.xticks(X + 0.2, names, fontsize=8)
    plt.yticks(fontsize=8)
    plt.ylabel("Number of pixels", fontsize=8)
    ax.legend(labels=['1998', '2008', '2018'], fontsize=8)
    self.figure.tight_layout()

    self.setWindowTitle('K-Means')

    self.canvas.draw()

if __name__ == '__main__':
    import sys
    from PyQt5.QtWidgets import QApplication

    app = QApplication(sys.argv)
    imageView = MainWindow()
    imageView.show()
    sys.exit(app.exec_())

```

## **ДОДАТОК В**

Система відслідковування змін рослинності Чорнобильської зони

Опис програми

УКР.НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»\_ТЕФ\_АПЕПС\_ТМ62191\_20Б 13-1

Аркушів 9

Київ – 2020

## АНОТАЦІЯ

Розроблений додаток надає інформацію про зміни стану рослинності території Чорнобильської зони на основі супутникових знімків із застосуванням нормалізованого вегетаційного індексу та методу кластеризації k-середніх.

Програмне забезпечення дозволяє отримати інформацію у візуальному вигляді про динаміку рослинного покриву зони відчуження.

Модуль написано на мові Python, інтерфейс реалізований за допомогою PyQt5 набору бібліотек.

Модуль може бути використаний для більш масштабного проекту, який дасть можливість показати зміни рослинності Чорнобильської зони після квітневих масштабних пожеж 2020 року.

## ЗМІСТ

1. Загальні відомості .....	78
2. Функціональне призначення .....	79
3. Опис логічної структури.....	80
4. Технічні засоби, що використовуються .....	81
5. Виклик і завантаження.....	82
6. Вхідні і вихідні дані .....	83

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У цьому додатку міститься опис програмного продукту та його призначення. У додатку 2 розміщено програмний код.

Розроблена програма працює в операційній системі MacOS і потребує встановленого на ПК пакету програм Python 3 та вище. Програма працює локально на комп'ютері користувача та не потребує доступу до мережі інтернет, що забезпечує практичність та швидкість.

При розробці програмного продукту використовувалась мова Python та середовище розробки PyCharm.

## ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ

Програмний додаток створений для моніторингу та відображення даних щодо стану рослинності Чорнобильської зони. Програма призначена для розв'язання завдань відслідковування змін рослинного покриву зони відчуження.

Програма використовується самостійно. Користувач має можливість переглянути:

- космічні знімки зі спутників Landsat 5 та Landsat 8;
- класифікацію знімків за допомогою методу к-середніх;
- класифікацію знімків за розрахованими індексами вегетації;
- діаграми кількісного порівняння класів.

## ОПИС ЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ

Розроблено програмний продукт, основною задачею якого є моніторинг стану рослинності Чорнобильської зони. Інформаційна система являє собою програму зі зручним інтерфейсом, який дозволить швидко аналізувати дані класифікації.

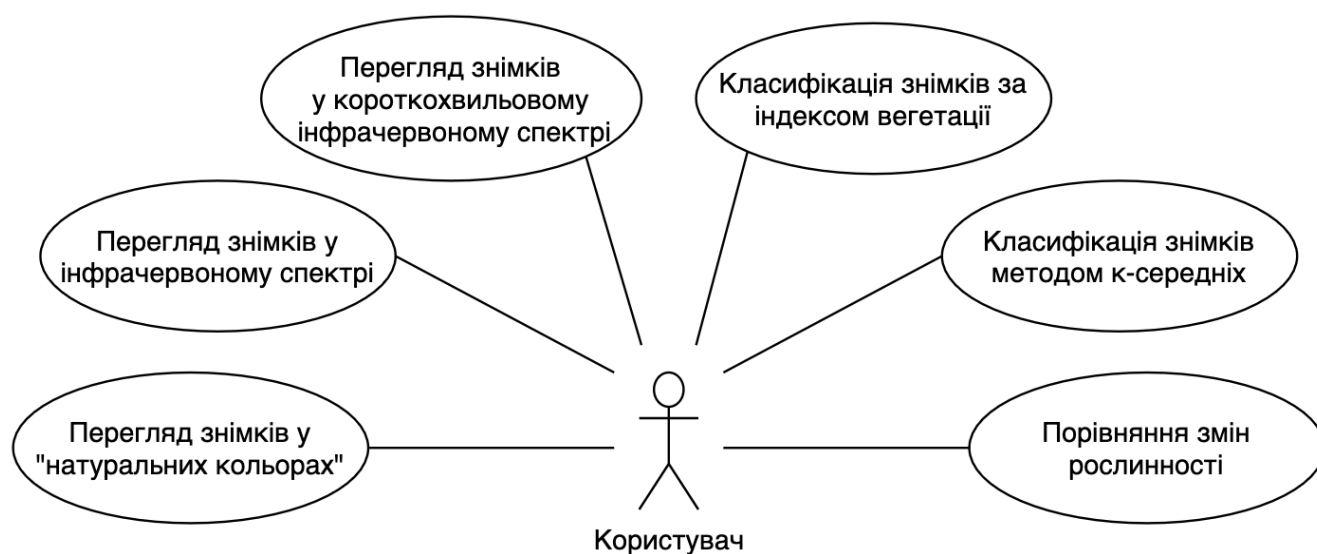


Рисунок 1 – Діаграма прецедентів



## **ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ**

Для користування програмним додатком потрібно мати комп'ютер або ноутбук з операційною системою MacOS.

Для забезпечення повноцінної роботи та досягнення високої ефективності створеної програми було обрано середовище розробки PyCharm на мові програмування Python.

Розроблений додаток працює в операційній системі MacOS і потребує встановленого на ПК пакету програм Python 3 та вище.

## **ВИКЛИК І ЗАВАНТАЖЕННЯ**

Завантаження програми здійснюється набором у командному рядку імені завантажувального файлу.

## **ВХІДНІ І ВИХІДНІ ДАНІ**

Вхідними даними є:

- космічні знімки за 1998, 2008 та 2018 роки.

Вихідними даними є :

- відображення на екрані.

## **ДОДАТОК Г**

### **Публікації**

Аркушів 3

Київ – 2020

## РОЗРОБКА ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ ЗМІН РОСЛИННОСТІ МЕТОДОМ УОЛША

У наш час рослинний світ дуже чутливо реагує на зміни екологічних факторів і є чітким показником обсягу антропогенного впливу на природу. Саме тому питання бездумного винищення рослинності є актуальним для нашого сьогодення. Адже знищення рослин наносить значну шкоду флорі і людство стоїть на порозі екологічної кризи.

Метою створення прикладного програмного забезпечення є відслідковування та аналіз змін рослинності у часі. За допомогою програмного продукту можна завантажити космічний знімок та відразу отримати результат. Слід зазначити, що розкладання в ряд Уолша може служити конструктивною основою для розробки не тільки високоефективних засобів розпізнавання, але і компактного зберігання зображень. Двовимірний дискретний спектр Уолша знаходиться в результаті дворазового виконання однойменного перетворення:

$$C_{\alpha,\beta} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \left[ \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} f(i,j) \cdot W_{\beta}\left(\frac{j}{M}\right) \right] \cdot W_{\alpha}\left(\frac{i}{N}\right), \text{ де}$$

$W_{\alpha}, W_{\beta}$  – функції Уолша,

$\alpha, \beta$  – номер функції Уолша,

$N$  – кількість відліків функції  $f$ ,

$\frac{i}{N}, \frac{j}{M}$  – знаходяться в інтервалі  $[0,1]$ .

Для вирішення задачі використовуються інструменти програмного продукту ArcGIS, що дає можливість для створення, обміну та застосування інформаційних

продуктів на основі карт, які підтримують роботу організацій, а також створення і управління підтримуваною географічною інформацією для розширення можливостей карт. Програмне забезпечення створено інтерпретованою об'єктно-орієнтованою мовою Python.

Отже, дане прикладне програмне забезпечення дозволить спостерігати за станом великих рослинних масивів, стежити за тенденціями опустелювання земель за допомогою космічних знімків. Також це допоможе швидко аналізувати зміни рослинного світу. А це є дуже актуальним для збереження рослинності, особливо рідкісних рослин, занесених до Червоної книги.

Перелік посилань:

1. Вестра Э. Разработка геоприложений на языке Python / Эрик Вестра., 2016. – 446 с.
2. Возможности карт ArcGIS [Електронний ресурс] – Режим доступа до ресурсу:<http://resources.arcgis.com/ru/help/gettingstarted/articles/026n00000015000000.htm>.

## **КЛАСИФІКАЦІЯ ЗНІМКІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ ЗМІН ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ**

Зважаючи на негативні зміни екологічних зон через вирубку лісових насаджень, необхідно провести їх аналіз на протязі певного часу. Саме тому нам потрібна класифікація космічних знімків.

Вирішення даної проблеми надасть нам змогу контролювати ці зміни та вчасно зупинитись, щоб не нанести шкоди екологічним та економічним чинникам України. Процес класифікації – це процес отримання класів з багатоканального растрового зображення. Саме тому ми використовуємо космічні знімки визначеної місцевості зі зміною у десять років. Процес класифікації – це багатокроковий робочий процес, який потребує часу.

Для вирішення цієї задачі ми використовуємо інструменти програмного продукту ArcGIS. Створюємо базу даних кварталів та полігонів, завантажуюмо файл з описами порід дерев на обраній ділянці. Виділяємо класи для кожної породи та позначаємо її власним Id кодом. Після того як ми обрали карту та виділили кожен клас, проводимо автоматичну класифікацію зображення. В результаті отримуємо карту відділів кожної породи. Для кожного класу відповідає індивідуальний колір, що спрощує процес аналізу класифікації.

Ця робота дозволяє нам швидко класифікувати зображення та проаналізувати зміни лісових угідь.